



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *ARC FLASH* PADA PT. VICO INDONESIA, KALIMANTAN TIMUR

Muhammad Iham Rosyadi
NRP 2215 105 069

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**PROTECTION COORDINATION ANALYSIS
BY CONSIDERING ARC FLASH ON PT. VICO INDONESIA, EAST
KALIMANTAN**

Muhammad Iham Rosyadi
NRP 2215 105 069

Advisors
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

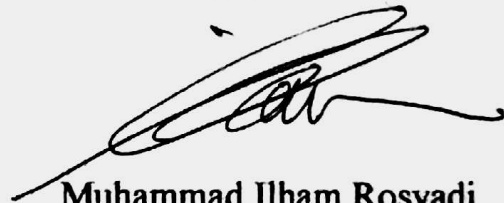
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Analisis Koordinasi Proteksi Dengan Mempertimbangkan Arc Flash Pada PT. VICO Indonesia, Kalimantan Timur”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017



Muhammad Ilham Rosyadi
NRP. 2215 105 069

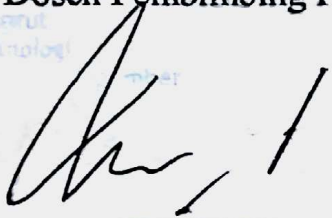
**ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN *ARC FASH* PADA
PT. VICO INDONESIA, KALIMANTAN TIMUR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

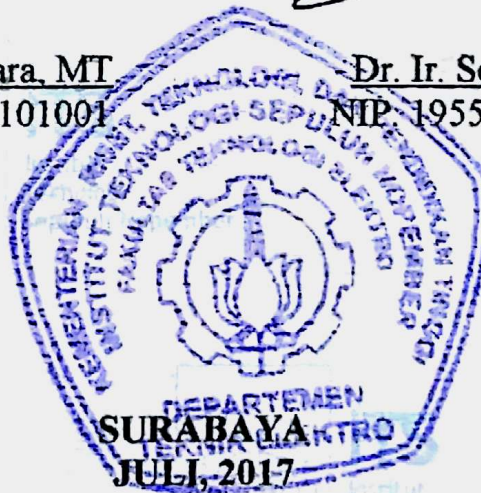


Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT
NIP. 1966 03181990101001

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Soedibyo, M.MT
NIP. 195512071980031004



ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *ARC FLASH* PADA PT. VICO INDONESIA, KALIMANTAN TIMUR

Nama Mahasiswa : Muhammad Ilham Rosyadi
NRP : 2215 105 069
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
2. Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRAK

PT. VICO Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan dan eksplorasi minyak dan gas alam di Kalimantan. Produksi minyak dan gas bumi yang dihasilkan diproses di 4 stasiun produksi, yaitu Badak, Nilam, Mutiara dan Sembelah. Dimana unit operasi Badak dan Nilam mempunyai sistem kelistrikan yang saling terintegrasi, serta disuplai 2x2,5 MW dan 2,7 MW pada unit Badak, dan 2,5 MW pada unit Nilam. PT. VICO Indonesia sebagai perusahaan produsen minyak dan gas harus dapat menjaga kontinuitas aliran daya dan kehandalan sistem kelistrikan dari gangguan-gangguan yang mungkin timbul agar proses produksi dapat berjalan dengan lancar dan maksimal. Gangguan-gangguan tersebut ialah gangguan hubung singkat dan beban lebih. Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi yang terkoordinasi dengan baik. Untuk gangguan hubung singkat, selain dapat mengganggu sistem kelistrikan, juga dapat menimbulkan insiden busur api (*Arc Flash*) yang berbahaya bagi pekerja.

Pada Tugas Akhir ini dianalisa mengenai koordinasi sistem proteksi, dan guna menyempurnakan keamanan sistem jaringan maka dipertimbangkan juga insiden busur api yang mungkin terjadi, mengingat PT. VICO yang sangat rentan terhadap kebakaran. Salah satu variabel yang mempengaruhi nilai insiden energi ialah *Fault Clearing Time* (FCT), sehingga diperlukan koordinasi proteksi yang baik dan tepat agar dapat mengurangi energi dari busur api. Dari analisa dan perhitungan energi busur api tersebut didapatkan besar level energi busur api sesuai dengan NFPA-70E, yaitu level energi 0 sampai dengan 4. Level energi tersebut digunakan sebagai rekomendasi *Personal Protective Equipment* (PPE) bagi para pekerja.

Kata kunci : koordinasi proteksi, busur api, insiden energi, *Personal Protective Equipment* (PPE)

****Halaman ini sengaja dikosongkan****

**PROTECTION COORDINATION ANALYSIS
BY CONSIDERING ARC FLASH ON PT. VICO INDONESIA,
EAST KALIMANTAN**

Name of Student : Muhammad Ilham Rosyadi
NRP : 2215 105 069
Advisors : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
2. Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRACT

PT. VICO Indonesia is a company rolling in process and exploration of oil and natural gas in Kalimantan. The production of oil and gas is processed in 4 production stations, Badak, Nilam, Mutiara and Semberah. The operation unit of Badak and Nilam have an integrated electrical system, supplied by 2x2,5 MW and 2,7 MW at Badak unit, and 2,5 MW at Nilam unit. PT. VICO Indonesia as an oil and gas producer company must be able to maintain continuity of power flow and reliability of electrical system from possible interference, so the production process can run smoothly and maximally. The disturbances in the system are short circuit and overload. Therefore it need a correct coordination of protection system. For short circuit interruptions, not only it disturb the electrical system, but also can cause Arc Flash incidents that are harmful to workers.

In this Final Project analyzed coordination of protection system, and to improve network system security, so cosideration of possible arc flash incident that may occur is included, because PT. VICO is very vulnerable to fire. One of the variables that influence the value of incident energy is Fault Clearing Time (FCT), so it need correct protection coordination to reduce energy from arc flash. From the analysis and calculation of arc flash energy will be get the energy level of arc flash based on NFPA-70E, that is energy level 0 until 4. This level energy use for recommendation of Personal Protective Equipment (PPE) for the workers.

Keywords: *coordination of protection, arc flash, energy incident, Personal Protective Equipment (PPE)*

****Halaman ini sengaja dikosongkan****

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur hanya kepada Allah SWT atas berkat rahmat, karunia, petunjuk, serta bimbingan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul :

ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *ARC FLASH* PADA PT. VICO INDONESIA, KALIMANTAN TIMUR

Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu dan membimbing penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini, terutama kepada :

1. Ibu, Ayah, dan keluarga yang selalu memberi dukungan, motivasi, dan do'a yang begitu luar biasa sehingga terselesainya proyek akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. Dan Bapak Dr. Ir. Soedibyo, M.MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran, masukan serta bimbingannya.
3. Seluruh dosen pengajar Departemen Teknik Elektro, khususnya bidang studi teknik sistem tenaga atas ilmu dan bantuannya.
4. Seluruh teman-teman mahasiswa Teknik Elektro lintas jalar angkatan 2015 khususnya bidang studi teknik sistem tenaga.
5. Seluruh teman-teman proteksi yang telah berjuang bersama, yang telah banyak memberikan bantuan dan saran.
6. Amelia Harintama yang telah membantu dan menyemangati penulis.

Besar harapan penulis agar buku ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran membangun dari seluruh pembaca.

Surabaya, Juli 2017
Penulis

****Halaman Ini Sengaja Dikosongkan****

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi	5
BAB 2 PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK DAN ENERGI BUSUR API.....	7
2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.1.1 Gangguan Hubung Singkat	7
2.2 Proteksi Sistem Tenaga Listrik.....	10
2.2.1 <i>Circuit Breaker (CB) dan Disconnecting Switch (DS)</i>	10
2.2.2 Peralatan Transformator	11
2.2.3 Rele Pengaman.....	12
2.3 Rele Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>).....	13
2.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (<i>Instantaneous</i>)	13
2.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (<i>Definit Time</i>).....	14
2.3.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (<i>Inverse Time</i>)	15
2.3.4 Penyetelan Rele Arus Lebih	16
2.3.5 Koordinasi Rele	17
2.4 Busur Api (<i>Arc Flash</i>)	18
2.4.1 Perhitungan Energi Busur Api Berdasarkan Standart IEEE 1584-2002	20
2.4.2 <i>Lee Method</i>	22
2.4.3 <i>Flash Protection Boundary</i>	22
2.4.4 Perhitungan <i>Flash Protection Boundary</i>	23
2.4.5 Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api Sesuai dengan <i>Personal Protective Equipment (PPE)</i>	24

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. VICO INDONESIA MUARA BADAK, KALIMANTAN TIMUR	27
3.1 Sistem Kelistrikan PT. VICO Indonesia	27
3.2 Kapasitas Pembangkitan	29
3.3 Sistem Transmisi dan Distribusi.....	29
3.3.1 Sistem Transmisi.....	29
3.3.2 Sistem Distribusi.....	30
3.4 Kapasitas Trasformator	31
3.5 Kapasitas Beban	32
3.6 Sistem Pentanahan	35
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISA ARC FLASH DI PT. VICO INDONESIA.....	39
4.1 Nilai Energi Busur Api (<i>Arc Flash</i>) Kondisi <i>Existing</i>	39
4.2 Analisa Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa.....	41
4.2.1 Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal Badak	42
4.2.2 Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal Nilam	57
4.2.3 Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal Badak- Nilam	68
4.3 Nilai Energi Busur Api (<i>Arc Flash</i>) Kondisi <i>Resetting</i>	86
4.3.1 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i>	86
4.3.2 Perhitungan Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i> dengan Standar IEEE 1584-2002	89
4.4 Perhitungan <i>Flash Protection Boundary</i>	104
4.5 Perbandingan Besar Nilai Energi Busur Api.....	109
4.6 Perbandingan <i>Flash Protection Boundary</i>	113
4.7 Penentuan <i>Personal Protective Equipment</i>	116
BAB 5 PENUTUP.....	119
5.1 Kesimpulan	119
5.2 Saran.....	120
DAFTAR PUSTAKA.....	121
RIWAYAT HIDUP PENULIS	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Metodologi Tugas Akhir.....	3
Gambar 2.1 Gelombang Arus Hubung Singkat	8
Gambar 2.2 Gelombang Arus Kontribusi Tiap Peralatan	9
Gambar 2.3 Reaktansi Untuk Menghitung Arus Hubung Singkat.....	10
Gambar 2.4 Skema Kerja Rele Pengaman.....	12
Gambar 2.5 Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika	14
Gambar 2.6 Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	14
Gambar 2.7 Kurva Karakteristik <i>Standart Inverse</i> , <i>Very Inverse</i> dan <i>Extremely Invers</i>	15
Gambar 2.8 Kurva Karakteristik <i>Moderately Inverse</i> , <i>Very Inverse</i> , dan <i>Extremely Inverse</i>	16
Gambar 2.9 <i>Arcing Fault</i> dan <i>Bolted Fault</i>	19
Gambar 2.10 Efek yang Ditimbulkan <i>Arc Fault</i>	19
Gambar 2.11 Batas Pendekatan Jarak <i>Flash Protection Boundary</i>	23
Gambar 2.12 <i>Personal Protective Equipment</i> (PPE).....	25
Gambar 3.1 <i>Single Line Diagram</i> Sederhana Sistem Kelistrikan PT. VICO Indonesia	28
Gambar 3.2 <i>Single Line Diagram</i> Sistem Kelistrikan PT. VICO Indonesia pada Unit Operasi Badak dan Nilam	28
Gambar 4.1 Tipikal Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa	42
Gambar 4.2 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal Badak	43
Gambar 4.3 Kurva TCC <i>Existing</i> Tipikal Badak.....	44
Gambar 4.4 Kurva MTCS (Multiple of Tap Current Setting) CO8 Inverse	55
Gambar 4.5 Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal Badak	56
Gambar 4.6 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal Nilam	58
Gambar 4.7 Kurva TCC <i>Existing</i> Tipikal Nilam	59
Gambar 4.8 Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal Nilam	67
Gambar 4.9 <i>Single Line Diagram</i> Tipikal Badak-Nilam.....	69
Gambar 4.10 Kurva TCC <i>Existing</i> Tipikal Badak-Nilam.....	70
Gambar 4.4 Kurva MTCS (Multiple of Tap Current Setting) CO7 <i>Moderatly Inverse</i>	84
Gambar 4.12 Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal Badak-Nilam.....	85

****Halaman Ini Sengaja Dikosongkan****

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Invers <i>Time Dial</i>	17
Tabel 2.2 <i>Interval</i> Waktu Antar Rele	18
Tabel 2.3 Tipikal Gap Antar Bus	21
Tabel 2.4 Tipikal Jarak Kerja	21
Tabel 2.5 Faktor Peralatan dan Kelas Tegangan	22
Tabel 2.6 Pengelompokan Kategori Bahaya Busur Api Berdasarkan NFA 70E	24
Tabel 3.1 Data Kapasitas Pembangkit Unit Badak, VICO Indonesia....	29
Tabel 3.2 Data Kapasitas Pembangkit Unit Nilam, VICO Indonesia....	29
Tabel 3.3 Data Spesifikasi Kabel Transmisi	30
Tabel 3.4 Data Spesifikasi Kabel Distribusi	30
Tabel 3.5 Data Kapasitas Transformator pada Unit Operasi Badak dan Nilam	31
Tabel 3.6 Data Kapasitas Motor pada Unit Badak dan Nilam.....	33
Tabel 3.7 Data Kapasitas Lump Load pada Unit Badak dan Nilam.....	34
Tabel 3.8 Data Sistem Pentanahan Generator	36
Tabel 3.9 Data Sistem Pentanahan Transformator	36
Tabel 3.9 Data Sistem Pentanahan Transformator (Lanjutan).....	37
Tabel 3.9 Data Sistem Pentanahan Transformator (Lanjutan).....	38
Tabel 4.1 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi <i>Existing</i> Unit Badak.....	39
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi <i>Existing</i> Unit Nilam	40
Tabel 4.3 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i> Unit Badak.....	87
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i> Unit Nilam	88
Tabel 4.5 Data Untuk Perhitungan Energi Busur Api pada Unit Badak.....	89
Tabel 4.6 Data Untuk Perhitungan Energi Busur Api pada Unit Nilam	91
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i> Unit Badak	102
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi <i>Resetting</i> Unit Nilam.....	103
Tabel 4.9 Perbandingan Besar Insiden Energi dan Kategori Level Busur Api Kondisi <i>Existing</i> , <i>Resetting</i> dan Hitungan pada Unit Badak.....	109

Tabel 4.10 Perbandingan Besar Insiden Energi dan Kategori Level Busur Api Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada Unit Nilam.....111

Tabel 4.11 Perbandingan *Flash Protection Boundary* Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada Unit Badak.....113

Tabel 4.12 Perbandingan *Flash Protection Boundary* Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada Unit Nilam114

Tabel 4.13 Penentuan PPE Berdasarkan Kategori Level Busur Api ...116

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. VICO Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan dan eksplorasi minyak dan gas alam di Kalimantan. PT. VICO Indonesia mengoperasikan 7 lapangan produksi minyak dan gas bumi di daratan (*onshore*) Kalimantan Timur, Indonesia. Lapangan-lapangan itu adalah Badak, Nilam, Pamaguan, Semberah, Mutiara, Beras, and Lempake. Produksi minyak dan gas bumi yang dihasilkan lapangan-lapangan tersebut diproses di 4 stasiun produksi. Stasiun produksi tersebut adalah Badak, Nilam, Mutiara dan Semberah. Dimana unit operasi Badak dan Nilam mempunyai sistem kelistrikan yang saling terintegrasi, serta disuplai 2x2,5 MW dan 2,7 MW pada unit Badak, dan 2,5 MW pada unit Nilam.

PT. VICO sebagai perusahaan produsen minyak dan gas harus dapat menjaga kontinuitas aliran daya dan kehandalan sistem kelistrikan dari gangguan-gangguan yang mungkin timbul agar proses produksi dapat berjalan dengan lancar dan maksimal. Gangguan tersebut ialah gangguan beban lebih, gangguan hubung singkat dan gangguan tegangan lebih. Pada PT. VICO Indonesia pernah terjadi *black out* karena adanya gangguan pada salah satu area. Hal ini dikarenakan sistem pengaman belum terkoordinasi dengan baik, sehingga pada saat terjadi gangguan sistem pengaman mengalami kesalahan urutan trip. Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi yang terkoordinasi dengan baik. Selain dapat mengganggu sistem kelistrikan, gangguan yang terjadi juga dapat menimbulkan insiden busur api (*Arc Flash*) yang berbahaya bagi pekerja, dalam hal ini ialah gangguan hubung singkat.

Agar sistem kelistrikan pada PT. VICO aman dan proses produksi tidak terganggu, maka diperlukan koordinasi sistem proteksi yang baik dan tepat. Dengan *setting* rele yang tepat, rele dapat mengamankan bagian sistem yang mengalami gangguan saja dan menjaga bagian sistem lainnya tetap beroperasi. Selain itu dengan koordinasi proteksi merupakan syarat dalam analisa energi busur api, sehingga diperlukan koordinasi yang baik dan tepat. Koordinasi proteksi yang baik akan dapat mengurangi energi dari busur api yang mungkin timbul akibat gangguan. Dari analisa dan perhitungan energi busur api maka akan didapatkan besar nilai insiden energi busur api berdasarkan standar IEEE 1584-2002 dan rekomendasi *Personal Protective Equipment* (PPE) bagi para pekerja sesuai level energi berdasarkan standar NFPA 70E.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Sistem kelistrikan PT. VICO Indonesia dan besar arus gangguan pada sistem.
2. Setting baru rele-rele arus lebih fasa, untuk mendapatkan koordinasi proteksi yang tepat agar insiden energi busur api yang timbul dapat diminimalkan.
3. Besar level insiden energi busur api yang timbul saat adanya gangguan sesuai standar IEEE 1584-2002.
4. Cara mengantisipasi bahaya insiden busur api yang mungkin terjadi sehingga didapatkan peralatan *safety* untuk pekerja sesuai standar NFPA 70E.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. *Software* yang digunakan adalah ETAP 12.6.
2. Analisis dilakukan di PT VICO Indonesia, Unit Operasi Badak-Nilam.
3. Analisis difokuskan pada koordinasi proteksi rele arus lebih fasa, dan perhitungan energi *arc flash*.
4. Perhitungan *arc flash* menggunakan standar IEEE 1584 – 2002.

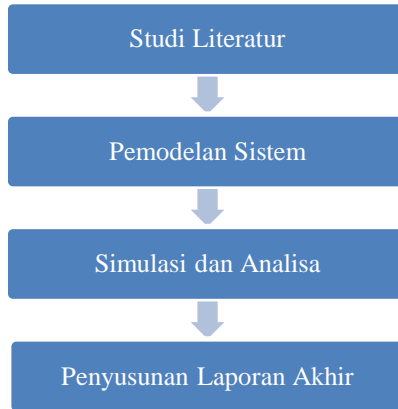
1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini :

1. Melaksanakan studi mengenai koordinasi proteksi sistem kelistrikan PT. VICO Indonesia untuk mendapatkan *setting* rele arus lebih fasa yang tepat, agar insiden energi busur api yang timbul dapat diminimalkan.
2. Dapat mengetahui besar level insiden energi busur api yang mungkin timbul saat terjadi gangguan, sehingga didapatkan rekomendasi besarnya kemungkinan bahaya dan alat pelindung diri bagi pekerja.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1.1. Metodologi Tugas Akhir

1. Studi Literatur

Studi literatur perlu dilakukan untuk menunjang penguasaan tentang pengumpulan pustaka untuk dipelajari dalam pengerjaan penelitian tugas akhir. Teori – teori penunjang seperti studi analisis aliran daya, analisis hubung singkat, pengaman sistem tenaga listrik dan perhitungan *arc flash*.

2. Pengambilan Data

Pengambilan data sistem kelistrikan dan parameter lain yang diperlukan pada PT. VICO Indonesia. Data yang diperlukan ialah *single line diagram* PT. VICO Indonesia, rating generator, transformator, motor dan beban lainnya, kabel, busbar, *circuit breaker*, dan *setting* rele pada kondisi *existing*.

3. Pemodelan Sistem dan Simulasi

Pada tahap ini dilakukan pemodelan dari *Single Line Diagram* sistem, dan penentuan *typical* pada software ETAP. Setelah proses pengumpulan data dan pemodelan sistem dengan software, dilakukan simulasi untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan.

4. Analisa

Data-data dari hasil simulasi yang didapatkan, seperti data aliran daya dan hubung singkat, digunakan untuk analisa sistem kelistrikan dan digunakan untuk *setting* dan koordinasi rele-rele pengaman pada sistem. Setelah rele-rele pengaman

dikoordinasikan, dilakukan pemodelan skema dengan berbagai macam gangguan dan letaknya untuk mengetahui apakah koordinasi proteksi telah tepat. Selanjutnya dapat dilakukan analisa terhadap besarnya insiden energi busur api yang timbul pada sistem.

5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Pada tahap ini akan dilakukan penyusunan laporan terkait hasil analisa dan kesimpulan tugas akhir yang telah dilakukan. Penyusunan buku tugas akhir dilakukan sebagai bentuk laporan tertulis dari proses dan hasil tugas akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada tugas akhir ini digunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Pada bab 1 ini berisikan latar belakang tugas akhir, rumusan dan batasan masalah, tujuan yang ingin dicapai, metodologi, sistematika pembahasan.

BAB 2 : Sistem Proteksi Tenaga Listrik dan Energi Busur Api

Pada bab 2 ini membahas literatur-literatur dan teori dasar yang berguna sebagai acuan dalam tugas akhir ini. Pada bab ini dibahas tentang gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik, sistem proteksi dan koordinasi proteksi tenaga listrik, serta energi busur api sesuai standar IEEE 1584-2002 dan perlindungan terhadap busur api sesuai standar NFPA 70E.

BAB 3 : Sistem Kelistrikan PT. VICO Indonesia, Kalimantan Timur

Pada bab 3 ini membahas tentang sistem kelistrikan di PT. VICO Indonesia meliputi, konfigurasi sistem, kapasitas pembangkit, sistem transmisi dan distribusi, sistem pentanahan, dan data beban.

BAB 4 : Simulasi dan Analisa Busur Api pada PT. VICO Indonesia

Pada bab 4 ini membahas mengenai analisa koordinasi proteksi dan analisa perhitungan energi busur api pada PT. VICO Indonesia, serta rekomendasi untuk jarak aman dan perlindungan diri untuk pekerja berdasarkan standar.

BAB 5 : Penutup

Pada bab 5 ini berisikan kesimpulan dari pembahasan, simulasi dan analisa yang telah dilakukan. Pada bab ini juga terdapat saran terkait hasil dari tugas akhir untuk hasil yang lebih baik kedepannya.

1.7 Relevansi

Dari hasil tugas akhir ini nantinya diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi bagi PT. VICO Indonesia Unit Badak dan Nilam dalam melakukan *setting* proteksi pada sistem kelistrikannya
2. Dapat mengetahui besar energi busur api yang terjadi pada PT. VICO Indonesia Unit Badak dan Nilam, sehingga didapatkan rekomendasi *Personal Protective Equipment* (PPE) dan *working distance* yang aman untuk pekerja.

****Halaman ini sengaja dikosongkan****

BAB 2

PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK DAN ENERGI BUSUR API

Dalam sebuah industri dibutuhkan sistem kelistrikan yang handal untuk menunjang proses produksi. Agar sistem kelistrikan tersebut menjadi handal, maka dibutuhkan sistem proteksi yang dapat mengamankan sistem kelistrikan industri tersebut dari berbagai bentuk gangguan. Gangguan-gangguan ini dapat membuat sistem menjadi tidak normal atau bahkan memutus aliran daya pada industri tersebut. Gangguan yang biasa terjadi ialah gangguan hubung singkat dan beban lebih. Gangguan hubung singkat sendiri dapat menimbulkan busur api (*arc flash*) yang berbahaya untuk pekerja dan peralatan. Untuk dapat mengamankan gangguan dibutuhkan sistem proteksi yang terkoordinasi dengan baik, sehingga sistem tidak mengalami *blackout* dan busur api yang timbul dapat diminimalisir.

2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik bermacam-macam bentuknya. Gangguan terdiri dari dua jenis bentuk, yaitu gangguan bersifat sementara/temporer dan gangguan bersifat permanen. Untuk asal dari gangguan ada dua, yaitu gangguan yang berasal dari dalam sistem dan gangguan yang berasal dari luar sistem [1]. Gangguan dari dalam sistem disebabkan oleh : [3]

1. Fluktuasi tegangan dan arus.
2. Beban lebih (*overload*).
3. Kondisi peralatan yang kurang baik atau rusak.
4. Kondisi peralatan akibat penuaan.

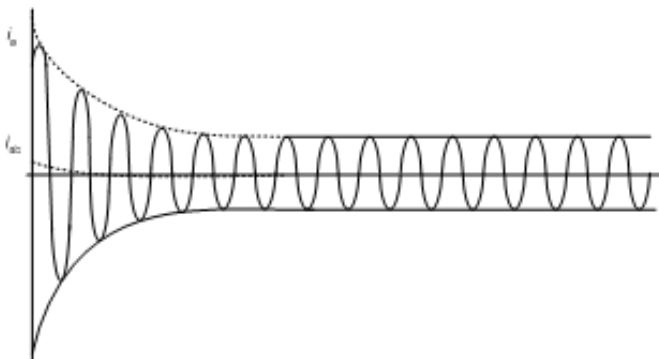
Sedangkan untuk gangguan dari luar sistem disebabkan oleh : [3]

1. Kesalahan pekerja (*human error*).
2. Kondisi cuaca, seperti angin, hujan dan petir.
3. Kondisi lingkungan, seperti hewan, pohon tumbang dan lain-lain.

2.1.1 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat sering timbul pada sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan arus pada sistem mengalir menuju titik gangguan dan bernilai sangat besar, melebihi nilai nominalnya. Arus hubung singkat yang sangat besar ini dapat menimbulkan fenomena *arc-flash* atau busur api yang berbahaya bagi pekerja dan bagi sistem kelistrikan tersebut.

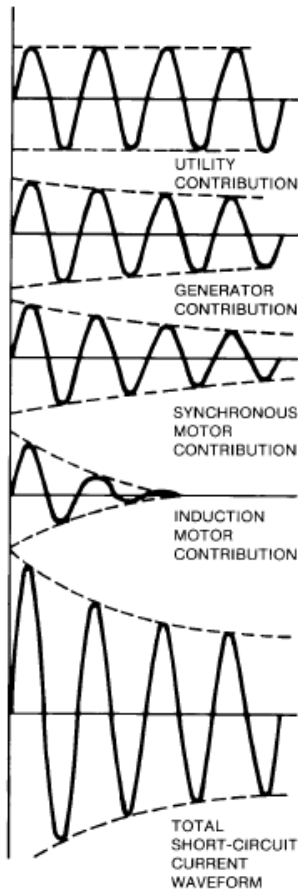
Gangguan hubung singkat dibagi menjadi dua macam, yaitu hubung singkat simetri dan asimetri. Yang termasuk gangguan hubung singkat simetri (seimbang) ialah gangguan hubung singkat 3 fasa, dan gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah. Sedangkan yang termasuk gangguan hubung singkat asimetri (tidak seimbang) ialah gangguan hubung singkat satu fasa ketanah, gangguan hubung singkat antar fasa (dua fasa), dan gangguan hubung singkat antar fasa (dua fasa) ketanah. Gelombang dari arus hubung singkat ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gelombang Arus Hubung Singkat[2]

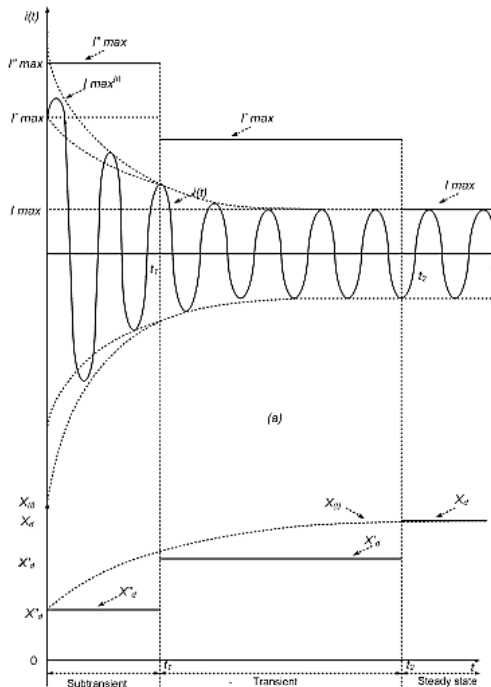
Pada hubung singkat terdapat 3 fase peralihan, yaitu subtransien, transien dan *steady state*. Fase subtransien terjadi pada cycle pertama (0-0,02 s), fase transien terjadi pada cycle selanjutnya (0,02-0,2 s), dan fase selanjutnya terjadi saat mencapai *steady state* ($\geq 0,2$ s). Arus hubung singkat maksimum terjadi saat fase subtransien dan digunakan untuk menentukan rating peralatan, sedangkan arus hubung singkat minimum terjadi saat fase *steady state* dan digunakan untuk menentukan koordinasi proteksi [2].

Saat terjadi hubung singkat pada suatu titik gangguan, maka semua arus pada sistem akan menuju ke titik gangguan. Sehingga arus pada titik gangguan akan bernilai sangat besar. Peralatan yang merupakan sumber arus hubung singkat dan mempunyai kontribusi arus hubung singkat ialah sumber *utility*, generator sinkron, motor sinkron, dan motor induksi. Gelombang arus kontribusi tiap peralatan saat hubung singkat dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Gelombang Arus Kontribusi Tiap Peralatan [2]

Reaktansi peralatan tersebut dapat mempengaruhi besarnya nilai arus hubung singkat pada tiap fase. Pada fase subtransien digunakan reaktansi subtransien (X_d'') pada cycle pertama. Reaktansi subtransien akan bertambah besar menjadi reaktansi transien (X_d') pada cycle selanjutnya. Reaktansi transien akan bertambah besar menjadi reaktansi sinkron (X_d) setelah keadaan *steady state* [5]. Reaktansi untuk menghitung arus hubung singkat sesuai dengan waktunya ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Reaktansi Untuk Menghitung Arus Hubung Singkat [2]

2.2 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Pada sistem tenaga listrik, gangguan mungkin akan muncul dan tidak dapat diperkirakan. Sistem tenaga listrik yang baik harus dapat menjaga kontinuitas aliran daya walaupun terjadi gangguan. Untuk itu diperlukan sistem proteksi yang dapat segera mengamankan gangguan. Sistem proteksi yang baik dan terkoordinasi dapat mengamankan gangguan dengan cepat dan tidak pada bagian yang terkena gangguan saja, sedangkan bagian lain dapat terjaga aliran dayanya. Sistem proteksi terdiri dari beberapa peralatan, seperti rele pengaman, *circuit breaker*, *disconnecting switch*, dan peralatan transformator (transformator arus dan transformator tegangan).

2.2.1 *Circuit Breaker* (CB) dan *Disconnecting Switch* (DS)

Circuit breaker (CB) ialah kontak-kontak mekanis yang otomatis dapat membuka dan menutup rangkaian dalam kondisi normal (berbeban) maupun saat kondisi hubung singkat. *Disconnecting switch* (DS) ialah kontak yang hanya dapat membuka dan menutup

(memisahkan) rangkaian dalam kondisi tidak berbeban. CB dan DS dipasang secara *interlock* yang bertujuan untuk menjamin agar tidak terjadi kesalahan operasi [1].

2.2.2 Peralatan Transformator

Ada dua macam jenis transformator, yaitu transformator tenaga untuk mengkonversi tegangan, dan transformator peralatan untuk alat bantu pengukuran dan pengaman. Transformator peralatan sendiri ada dua macam, yaitu transformator arus (*current transformer/CT*) dan transformator tegangan (*potential transformer/PT*) [1]. Yang akan dibahas disini ialah transformator peralatan yang merupakan peralatan bantu proteksi.

a. Transformator Arus (CT)

Transformator arus adalah transformator yang digunakan untuk pengukuran arus pada sistem tenaga listrik yang mempunyai arus yang besar. Berikut klasifikasi dan kapasitas transformator arus : [1]

- Klasifikasi transformator arus :
5P ; 10P (pengaman)
0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,5 ; 3 ; 5 (pengukuran)
- Kapasitas transformator arus :
2,5 ; 5 ; 10 ; 15 ; 30 VA
Diatas 30 VA untuk penggunaan yang khusus
- Standard sisi primer dan sisi sekunder transformator arus sebagai berikut :
 - Sekunder : 5 A atau 1 A
 - Primer : 10 ; 12,5 ; 15 ; 20 ; 25 ; 30 ; 40 ; 50 ; 60 ; 75 ; 100 ;
150 ; 200 ; 250 ; 300 ; 400 ; 500 ; 600 ; 800 ; 1000 ; 1200 ;
1500 ; 2000 ; 2500 ; 3000 ; 4000 ; 5000 A

b. Transformator Tegangan (PT)

Transformator tegangan adalah transformator yang digunakan untuk pengukuran tegangan dengan merubah besar tegangan tinggi pada sistem tenaga listrik menjadi tegangan rendah. Berikut klasifikasi dan kapasitas transformator tegangan : [1]

- Klasifikasi transformator tegangan :
3P ; 6P (pengaman)
0,2 ; 0,5 ; 1 ; 3 (pengukuran)
- Kapasitas Transformator tegangan :
10 ; 15 ; 25 ; 30 ; 50 ; 75 ; 100 ; 150 ; 200 ; 300 ; 400 ; 500 VA
- Standard sisi primer dan sisi sekunder transformator tegangan sebagai berikut :

- Sekunder : 100 V; 110 V; 100/V3 ; 110/V3 V
- Primer : sesuai dengan tegangan sistem

2.2.3 Rele Pengaman

Rele adalah sebuah alat yang dapat mendeteksi besaran tertentu kemudian mengirimkan sinyal/perintah pada pemutus (PMT) untuk bekerja (membuka atau menutup) sebagai respon dari besaran yang dideteksi. Besaran atau gangguan akan dideteksi oleh transformator arus (CT), yang kemudian akan di-*compare* dan di-*calculate*, serta *hold* oleh rele. Rele akan mengirimkan sinyal/perintah ke *circuit breaker* sebagai PMT untuk bekerja. Skema kerja dari rele pengaman ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema Kerja Rele Pengaman

Agar rele dapat bekerja dengan baik, maka rele pengaman harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut : [1]

- a. Kecepatan Bereaksi
Rele pengaman harus dapat mengamankan gangguan dengan cepat. Kecepatan pemutus gangguan dapat mengurangi kerusakan dan menjaga stabilitas dari kerja mesin-mesin.
- b. Kepekaan Operasi (Sensitivity)
Rele pengaman harus mampu merasakan gangguan sekecil mungkin, dan memberikan respon bila merasakan gangguan.
- c. Selektif (Selectivity)
Rele pengaman harus mampu untuk menentukan dengan tepat titik dimana gangguan tersebut muncul dan memutus rangkaian yang terkena gangguan dengan CB terdekat dari titik gangguan.
- d. Keandalan (Reliability)
Rele pengaman harus dapat meminimalisir kerusakan akibat gangguan. Semakin handal rele pengaman maka sistem akan semakin baik. Keandalan rele yang baik adalah 90-99 %. Angka tersebut merupakan jumlah rele yang bekerja terhadap gangguan yang terjadi.

e. Ekonomis

Rele pengamanan harus disesuaikan penggunaannya dengan harga peralatan yang diamankan.

2.3 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih (*over current relay*) adalah rele pengamanan yang akan beroperasi ketika arus yang mengalir pada saluran lebih besar dari *setting* arus pada rele. Syarat rele dapat beroperasi yaitu [3]:

$I_f > I_p$ maka rele akan bekerja (*trip*)

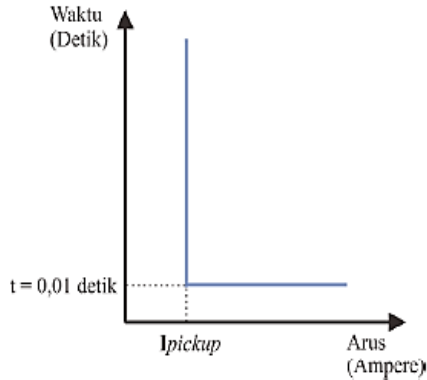
$I_f < I_p$ maka rele tidak bekerja (*blok*)

Dimana I_f adalah arus gangguan dan I_p adalah arus kerja/*setting* pada rele. I_f akan dideteksi atau di-*sensing* oleh CT, kemudian rele akan mendeteksi apakah I_f tersebut sebuah gangguan atau bukan. Jika I_f melebihi I_p maka rele akan mengirim sinyal pada PMT untuk beroperasi (*trip*).

Rele arus lebih ini seirng digunakan pada sistem tenaga listrik dan peralatan tenaga listrik, seperti sistem transmisi, sistem distribusi, transformator, generator, dan motor. Rele arus lebih ini dapat melindungi bagian-bagian dari sistem dan peralatan tersebut dari gangguan yang menyebabkan timbulnya arus lebih, seperti hubung singkat (*short circuit*) dan beban lebih (*overload*). Berdasarkan karakteristiknya, rele arus lebih diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu rele arus lebih waktu seketika (*instantaneous*), rele arus lebih waktu tertentu (*definit*), dan rele arus lebih waktu terbalik (*invers*) [1]. Karakteristik rele arus lebih tersebut digambarkan melalui kurva karakteristik arus-waktu atau *Time-Current Characteristic* (TCC) [4].

2.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous*)

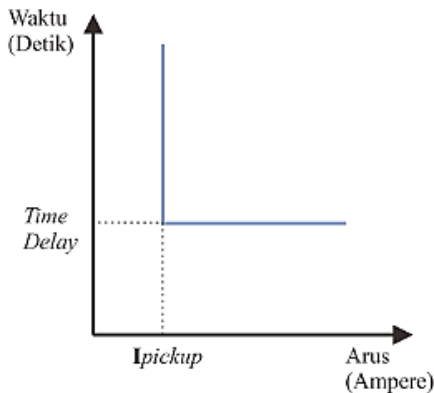
Prinsip kerja dari rele arus lebih waktu seketika/instan ini beroperasi tanpa ada waktu tunda yang dapat diatur atau bekerja seketika saat ada gangguan yang melebihi batas arus yang diinginkan. Waktu operasi rele ini antara 0,5 – 2 *cycle*, atau 0,01 – 0,04 detik [4]. Rele arus lebih instan ini biasa dikombinasikan dengan karakteristtik rele arus lebih yang lain. Kurva karakteristik rele arus lebih waktu seketika ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

2.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definit Time*)

Berbeda dengan rele arus lebih instan, prinsip kerja rele arus lebih waktu tertentu ini dengan mengatur waktu operasi berdasarkan level arus [3]. Rele arus lebih waktu tertentu ini akan beroperasi saat ada arus gangguan yang melebihi *pick-up set point* dari rele tersebut dengan waktu yang telah ditentukan. Saat semua level arus gangguan melebihi *pick-up set point* dari rele, rele akan memutusnya dalam waktu yang sama [3]. Kurva karakteristik rele arus lebih waktu tertentu ditunjukkan pada Gambar 2.6.

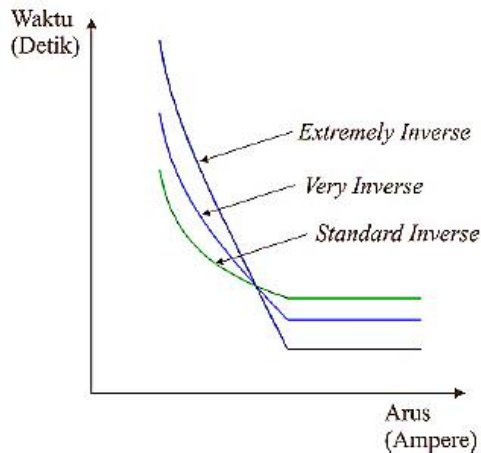


Gambar 2.6 Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

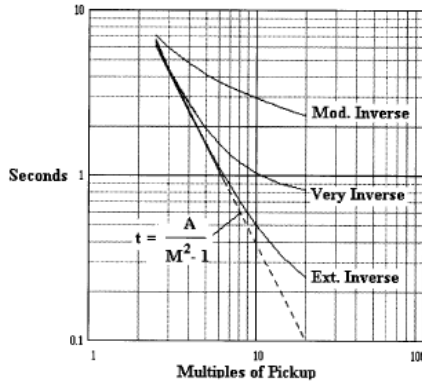
2.3.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time*)

Rele arus lebih waktu terbalik ini mempunyai prinsip kerja dimana waktu operasi dari rele berbanding terbalik dengan arus gangguan. Semakin besar arus gangguan, maka semakin cepat waktu rele untuk bekerja. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil arus gangguan, maka semakin lama waktu rele untuk bekerja.

Pada IEC 60255-3 dan BS 142 terdapat beberapa jenis kurva waktu *inverse*, yaitu *standart inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*. Tiap-tiap kurva berbeda bentuknya, yang membedakan ialah tingkat kemiringan kurva [1]. Pada IEEE std. C37.112 terdapat jenis kurva rele arus lebih waktu terbalik/*invers* yang lainnya, yaitu *moderately inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse*. Kurva karakteristik rele arus lebih waktu terbalik/*inverse* ditunjukkan pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Kurva Karakteristik *Standart Inverse*, *Very Inverse* dan *Extremely Invers*



Gambar 2.8 Kurva Karakteristik *Moderately Inverse*, *Very Inverse*, dan *Extremely Inverse*[6]

2.3.4 Penyetelan Rele Arus Lebih

Rele arus lebih dapat mengamankan gangguan yang disebabkan oleh beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*). Kedua gangguan ini dapat menimbulkan arus lebih. Sehingga untuk penyetelan arus pada rele memiliki batasan besarnya arus. Batas penyetelan rele arus lebih ialah ketika beban maksimum (walaupun arus sangat besar), rele tidak boleh bekerja. Oleh karena itu, arus *setting* pada rele harus lebih besar dari arus beban maksimum.

Untuk *setting* rele arus lebih waktu terbalik (*inverse*), menggunakan *setting pick up* dan *time dial*. *Setting pick up* ini untuk membatasi nilai arus beban maksimum. Dimana batas penyetelan ialah sebagai berikut [4]:

$$1,05 I_{FLA} < I_{set} < 1,4 I_{FLA} \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk cara penyetelan dengan menggunakan tap pada rele. Untuk menentukan setelan tap pada rele digunakan persamaan berikut [7] :

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{Rasio CT}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

- I_{set} = Arus *setting pick up*
- I_{FLA} = Arus *full load* (beban maksimum)
- Rasio CT = Rasio primer dan sekunder CT

Sedangkan *setting time dial* untuk menentukan waktu operasi rele. Untuk penentuan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik rele arus lebih invers digunakan persamaan berikut [9]:

$$t = \frac{K \times Td}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- t = waktu operasi (detik)
- Td = *time dial*
- I = nilai arus (Ampere)
- Iset = arus *pickup* (Ampere)
- K = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.1)
- α = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.1)
- β = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien Invers *Time Dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	K	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808

Untuk penyetelan rele arus lebih juga harus memperhatikan kondisi *instantaneous* juga. Untuk penyetelannya menggunakan *setting pick up* instan. Untuk penyetelan *pick up* instan ini menggunakan nilai arus *short circuit* minimum dan karakteristik peralatan. Untuk pengaman transformator pada sisi sumber atau *feeder*, dapat menggunakan arus *inrush* transformator. Untuk batas penyetelan ialah sebagai berikut [3]:

$$1,6 I_{FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \text{ min bus}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$I_{inrush} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \text{ min bus}} \dots\dots\dots(2.5)$$

2.3.5 Koordinasi Rele

Rele harus dapat mengamankan gangguan pada titik gangguan, tanpa memutus aliran daya di titik lainnya, sehingga tidak mengganggu operasi dari peralatan yang lain. Oleh karena itu rele pengaman harus terkoordinasikan satu dengan yang lainnya berdasarkan karakteristik arus dan waktu. Koordinasi rele dimulai dari rele pada beban paling

akhir atau bawah, dan menuju ke atas atau sumber tenaga listrik (generator dan *utility*). Untuk rele pengaman utama dengan rele pengaman cadangan *back up* tidak boleh beroperasi secara bersamaan. Rele yang terdekat dari gangguan yang harus bekerja terlebih dahulu. Jika rele ini gagal mengamankan gangguan, maka rele *back up* atau rele di atasnya yang harus bekerja.

Koordinasi rele pengaman ini dengan melihat kurva karakteristik arus-waktu (TCC). Kurva tiap-tiap rele tidak boleh saling bersinggungan atau memotong. *Interval* waktu tiap-tiap rele tidak boleh terlalu lama. Berdasarkan IEEE std. 242, interval waktu antara rele utama dengan rele *back up* dapat dilihat pada Tabel 2.2 [6]:

Tabel 2.2 *Interval Waktu Antar Rele*

Komponen	Rele Konvensional	Rele Digital Berbasis Mikroprosesor
Waktu Buka Circuit Breaker (2-5 Cycle)	0,08 detik	0,08 detik
<i>Relay Overtravel</i>	0,1 detik	0 detik
Toleransi Rele dan Error <i>Setting</i>	0,17 detik	0,17 detik
Total Interval Waktu	0,35 detik	0,25 detik

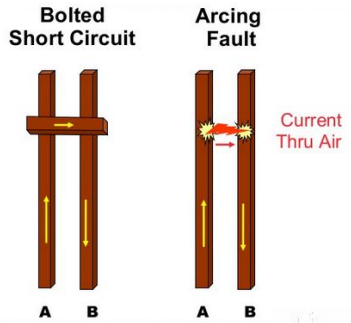
Untuk penggunaan rele digital, *overtravel time* rele dapat diabaikan. Sehingga total *interval* waktu yang diperlukan rele digital adalah 0,2 – 0,3 detik dan untuk rele analog 0,3 – 0,4 detik[6]. Dengan adanya interval ini, kemungkinan rele bekerja secara bersamaan dapat dihindarkan. Interval waktu ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam koordinasi anatar rele pengaman.

2.4 Busur Api (*Arc Flash*)

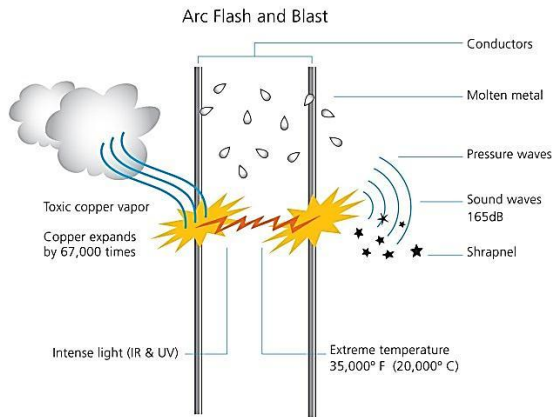
Busur Api (*arc flash*) ialah pelepasan energi panas yang sangat tinggi akibat adanya *arcing fault* atau *bolted fault*. *Arc fault* merupakan arus gangguan yang mengalir melalui udara antara konduktor dengan konduktor atau konduktor dengan tanah (*arcing fault current*). Sedangkan *bolted fault* menggunakan perantara konduktor sebagai jalur arus gangguannya [4].

Arc fault umumnya terjadi pada tegangan lebih dari 120 volt, dan menyebabkan udara sebagai konduktornya. Besar *arcing fault current* lebih rendah dari besar bolted fault dan dibawah rating *circuit breaker*. *Arcing fault current* dapat menciptakan sebuah plasma busur listrik dan melepaskan sejumlah energy yang berbahaya [7]. Efek yang dihasilkan

arc fault dapat berupa radiasi panas dengan temperature mencapai 35.000° F atau sekitar 4 kali panas permukaan matahari [4]. *Bolted fault current* dapat disebabkan oleh kesalahan pekerja, kegagalan isolasi, kegagalan mekanik, debu, dan korosi [8]. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10.



Gambar 2.9 Arcing Fault dan Bolted Fault [10]



Gambar 2.10 Efek yang Ditimbulkan Arc Fault [11]

Jumlah energi yang dihasilkan *arc flash* dipengaruhi oleh arus hubung singkat maksimum, level tegangan pada titik gangguan, waktu yang dibutuhkan peralatan pengaman untuk menghilangkan gangguan, jarak antar konduktor, dan jarak pekerja dengan titik *arc ing*.

2.4.1 Perhitungan Energi Busur Api Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002[12]

Untuk menghitung *arc flash* menggunakan standart IEEE 1584-2002, yang pertama harus dihitung adalah mencari nilai dari arus *arcing fault*. Terdapat dua persamaan untuk menghitung arus *arcing fault*, bergantung pada besarnya level tegangan bus.

Untuk level tegangan bus kurang dari atau sama dengan 1kV, persamaan arus dapat diperoleh dengan rumus :

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf}) \dots\dots\dots (2.9)$$

Untuk level tegangan 1kV – 15kV digunakan persamaan :

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

\lg = \log_{10}

I_a = arus *arcing* (kA)

K = -0,153 untuk konfigurasi terbuka dan -0,097 untuk konfigurasi box

I_{bf} = *boltd fault current* pada gangguan tiga fasa (simetris RMS) (kA)

V = tegangan sistem (kV)

G = celah antar konduktor (mm)

Setelah nilai *arcing current* didapatkan, maka nilai *incident energy* dapat dihitung. Dalam perhitungan besar energi yang normal, menggunakan referensi waktu arcing dengan durasi 0,2 detik dan jarak dari titik arcing ke manusia sebesar 610 mm. Persamaan yang digunakan adalah :

$$\lg En = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

En = incident energy normalized (J/cm²)

K_1 = -0,792 untuk konfigurasi terbuka (no enclosure); -0,555 untuk konfigurasi box (enclosed equipment)

K_2 = 0 untuk sistem ungrounded and high-resistance grounded; -0,113 untuk sistem grounded

G = jarak/celah antar konduktor (mm)

Setelah nilai E_n didapatkan, dapat dihitung besar insiden energi E digunakan persamaan :

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

- E = *incident energy* (J/cm²)
 C_f = faktor pengali 1,0 untuk tegangan diatas 1kV, dan 1,5 untuk tegangan dibawah 1kV
 E_n = *incident energy normalized*
 t = waktu arcing (detik)
 D = jarak dari titik *arc* ke pekerja (mm)
 x = jarak *exponent*

Dalam perhitungan nilai *arcing fault* dan *incident energy* perlu diperhatikan mengenai tipikal gap antar bus, tipikal jarak kerja, faktor peralatan pada tiap level tegangan sesuai dengan standart IEEE 1584-2002. Tipikal gap, jarak kerja dan faktor peralatan dapat dilihat pada Tabel 2.3, Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.3 Tipikal Gap Antar Bus

Kelas Peralatan	Tipikal Gap Antar Bus
15 kV <i>Switchgear</i>	152
5 kV <i>Switchgear</i>	104
<i>Low- voltage Switchgear</i>	32
<i>Low- voltage MCC dan Panelboards</i>	25
Kabel	13
Lainnya	Tidak Tersedia

Tabel 2.4 Tipikal Jarak Kerja

Kelas Peralatan	Tipikal Jarak Kerja
15 kV <i>Switchgear</i>	910
5 kV <i>Switchgear</i>	910
<i>Low- voltage Switchgear</i>	610
<i>Low- voltage MCC dan Panelboards</i>	455
Kabel	455
Lainnya	Ditentukan di Tempat

Tabel 2.5 Faktor Peralatan dan Kelas Tegangan

Tegangan Sistem (kV)	Kelas Peralatan	Tipikal Gap Antar Bus (mm)	Jarak Faktor X
0,208-1	<i>Open Air</i>	10-40	2,000
	<i>Switchgear</i>	32	1,473
	MCC dan <i>Panels</i>	25	1,641
	Kabel	13	2,000
> 1-5	<i>Open Air</i>	13-102	2,000
	<i>Switchgear</i>	13-102	0,973
	Kabel	13	2,000
>5-15	<i>Open Air</i>	13-153	2,000
	<i>Switchgear</i>	153	0,973
	Kabel	13	2,000

2.4.2 *Lee Method*[12]

Untuk perhitungan *incident energy* yang memiliki tegangan lebih dari 15kV atau gap yang lebih dari *range*, dapat menggunakan teori *Lee Method* yang termasuk dalam IEEE Std. 1584-2002. Persamaan *Lee Method* sebagai berikut:

$$E = 2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

E = *incident energy* (J/cm²)

V = tegangan sistem (kV)

t = waktu arcing (detik)

D = jarak dari titik *arc* ke pekerja (mm)

I_{bf} = *bolted fault current* pada gangguan tiga fasa (simetris RMS) (kA)

2.4.3 *Flash Protection Boundary*

Flash protection boundary adalah batas jarak untuk orang dari bagian konduktif aktif dimana jika terjadi ledakan busur api listrik, maka orang pada jarak tersebut dapat terpapar luka bakar tingkat dua. Dari pendekatan tersebut *National Fire Protection Association* (NFPA) telah menetapkan 4 batasan perlindungan, yaitu [4]:

1. *Flash Protection Boundary*

Ketika busur api terjadi, seorang pekerja yang berada pada batasan ini masih dapat terkena dampak luka bakar tingkat kedua

jika dia tidak menggunakan alat perlindungan diri ketika tingkat insiden energinya 5 J/cm^2 ($1,2 \text{ cal/cm}^2$).

2. *Limited Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor listrik yang bertegangan atau bagian rangkaian dimana terdapat bahaya sengatan listrik.

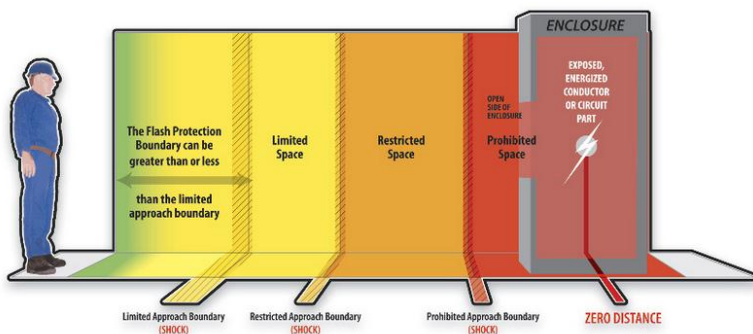
3. *Restricted Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari sebuah konduktor listrik bertegangan dimana ada peningkatan resiko terkena *shock* karena busur api, dikombinasikan dengan gerakan yang tidak disengaja oleh pekerja.

4. *Prohibited Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari sebuah konduktor listrik bertegangan dimana pekerja dianggap melakukan kontak langsung dengan konduktor listrik bertegangan.

Untuk lebih jelasnya mengenai batasan *flash protection boundary* dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Batas Pendekatan Jarak *Flash Protection Boundary*[13]

2.4.4 Perhitungan *Flash Protection Boundary* [12]

Untuk menentukan batas pendekatan jarak *flash protection boundary* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sesuai standar IEEE 1584-2002 sebagai berikut [12]:

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Untuk *Lee Method* sebagai berikut :

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{E_B} \right)} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

D_B = jarak batasan dari titik *arcing* (mm)

C_f = factor pengali : 1,0 untuk tegangan diatas 1 kV
1,5 untuk tegangan dibawah 1 kV

E_n = *incident energy normalized*

t = waktu (detik)

x = jarak *exponent*

E_B = insiden energy dalam J/cm^2 pada jarak batasan. Dapat diset pada nilai $5,0 J/cm^2$

2.4.5 Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api Sesuai dengan *Personal Protective Equipment (PPE)*

Berdasarkan standar NFPA 70E dengan memperhatikan kategori bahaya atau resiko busur api, maka *personal protective equipment (PPE)* dikategorikan berdasarkan besar insiden energi pada busur api. Pengelompokan kategori bahaya busur api dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut [14]:

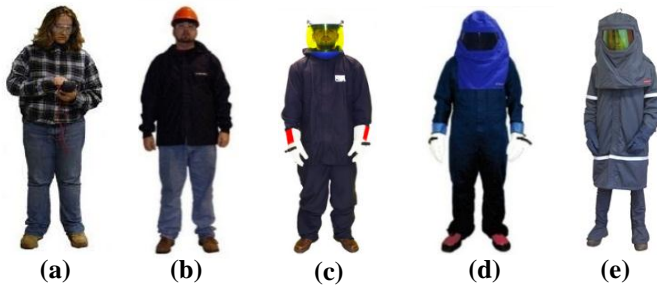
Tabel 2.6 Pengelompokan Kategori Bahaya Busur Api Berdasarkan NFPA 70E

Kategori	Level Energi (Cal/cm ²)	<i>Personal Protective Equipment (PPE)</i>
0	0 – 1,2	Pelindung mata Pelindung telinga Sepatu <i>safety leather</i> Kemeja lengan panjang Celana panjang
1	1,2 – 4	Pakaian tahan api Pelindung kepala Pelindung mata Sepatu <i>safety leather</i> Pelindung telinga Celana panjang
2	4 – 8	Pelindung wajah dan kepala Pakaian tahan api Sarung tangan <i>leather</i> Sepatu <i>safety leather</i> Pelindung mata Pelindung telinga Celana panjang

Tabel 2.6 Pengelompokan Kategori Bahaya Busur Api Berdasarkan NFPA 70E (Lanjutan)

Kategori	Level Energi (Cal/cm ²)	Personal Protective Equipment (PPE)
3	8 – 25	Flash suit hood Pelindung wajah dan kepala Sarung tangan <i>leather</i> Sepatu <i>safety leather</i> Pakaian tahan api Pelindung mata Pelindung telinga Celana panjang
4	25 - 40	Up to 40 cal/cm ² Flash suit hood Pelindung wajah dan kepala Sarung tangan <i>leather</i> Sepatu <i>safety leather</i> Pakaian tahan api Pelindung mata Pelindung telinga Celana panjang

Untuk lebih jelasnya mengenai alat pelindung diri/*personal protective equipment* (PPE) dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Personal Protective Equipment (PPE) (a) Kategori 0; (b) Kategori 1; (c) Kategori 2; (d) Kategori 3; (e) Kategori 4

****Halaman ini sengaja dikosongkan****

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT. VICO INDONESIA MUARA BADAK, KALIMANTAN TIMUR

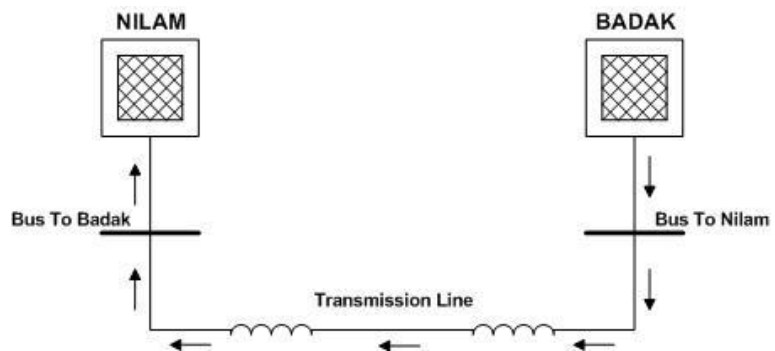
PT. VICO Indonesia atau Virginia Indonesia Company, LLC merupakan salah satu perusahaan Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS) yang ditunjuk oleh SKKMIGAS untuk melakukan proses pengolahan dan eksplorasi minyak dan gas bumi di Kalimantan. Perusahaan ini awalnya berdiri dengan nama HUFFCO Indonesia atau *Huffington Company* Indonesia yang didirikan oleh pengusaha minyak yang berasal dari Texas, Roy Huffington dan pengusaha asal Virginia, *General Arch Sproul*. PT. VICO Indonesia terletak di kecamatan Muara Badak, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur.

3.1 Sistem Kelistrikan PT. VICO Indonesia

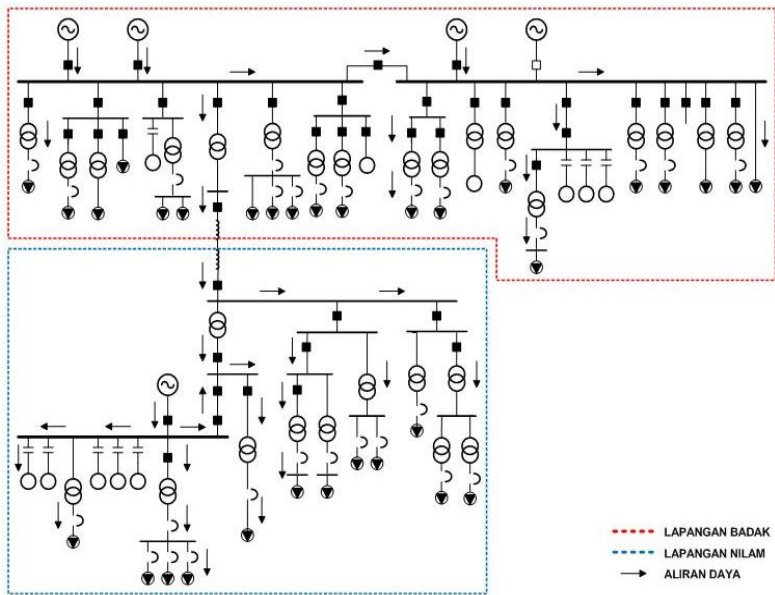
PT. VICO Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan dan eksplorasi minyak dan gas alam di Kalimantan. PT. VICO mengoperasikan 7 lapangan produksi minyak dan gas bumi di daratan (*onshore*) Kalimantan Timur, Indonesia. Lapangan-lapangan itu adalah Badak, Nilam, Pamaguan, Semberah, Mutiara, Beras, and Lempake. Produksi minyak dan gas bumi yang dihasilkan lapangan-lapangan tersebut diproses di 4 stasiun produksi. Stasiun produksi tersebut adalah Badak, Nilam, Mutiara dan Semberah. Dimana unit operasi Badak dan Nilam mempunyai sistem kelistrikan yang saling terintegrasi, serta disuplai 2x2,5 MW dan 2,7 MW TG (*Turbine Generator*) pada unit Badak, dan 2,5 MW TG (*Turbine Generator*) pada unit Nilam. Sebagai cadangan suplai daya, pada unit operasi Badak terdapat 3 DG (*Diesel Generator*) dan pada unit operasi nilam terdapat 1 DG (*Diesel Generator*). Karena PT. VICO merupakan perusahaan produsen minyak dan gas, maka kontinuitas aliran daya dan kehandalan sistem kelistrikan perlu dijaga agar proses produksi dapat berjalan dengan lancar dan maksimal.

Pada PT. VICO Indonesia unit operasi Badak-Nilam mempunyai level tegangan 4,16 kV. Unit operasi Badak-Nilam sendiri terintegrasi dan terhubung melalui saluran transmisi dengan level tegangan 33 kV, dimana aliran daya dari unit Badak menuju ke unit Nilam. Pada unit Badak, tegangan 4,16 kV di naikan menjadi 33 kV dengan transformator *step up* T4. Dan pada unit Nilam, tegangan 33 kV diturunkan dengan transformator *step down* T-1000 dan T 100 menjadi 4,16 kV menuju sistem, dan transformator *step down* T 201, T-601, T-501 dan T-401 menjadi 0,38 kV yang langsung menuju ke beban.

Adapun *single line diagram* sistem kelistrikan PT. VICO Indonesia yang telah disederhanakan dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3.1 *Single Line Diagram* Sederhana Sistem Kelistrikan PT. VICO Indonesia



Gambar 3.2 *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan PT. VICO Indonesia pada Unit Operasi Badak dan Nilam

3.2 Kapasitas Pembangkitan

Pembangkitan utama yang terdapat pada sistem kelistrikan PT. VICO Indonesia terdapat pada unit operasi Badak dan Nilam. Total pembangkitan di Badak dan di Nilam ada 14 pembangkit. Pada unit operasi Badak terdapat enam pembangkit dan pada unit operasi Nilam memiliki 8 pembangkit. Tetapi pada prosesnya hanya TG (*Turbine Generator*) baik di unit operasi Badak maupun Nilam yang beroperasi, sedangkan untuk pembangkit lain seperti DG (*Diesel Generator*) dan GG (*Gas Generator*) hanya sebagai cadangan atau *back up*. Untuk lebih lengkapnya mengenai kapasitas pembangkitan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2

Tabel 3.1 Data Kapasitas Pembangkit Unit Badak, VICO Indonesia

No	ID Generator	MW	MVA	kV	%PF
1	TG -6700	2.5	3.125	4.16	80
2	TG – 6710	2.7	3.375	4.16	80
3	TG – 6720	2.5	3.125	4.16	80
4	DG – 1	0.66	0.825	4.16	80
5	DG – 4	0.304	0.38	0.38	80
6	DG - 5	0.304	0.38	0.38	80

Tabel 3.2 Data Kapasitas Pembangkit Unit Nilam, VICO Indonesia

No	ID Generator	MW	MVA	kV	%PF
1	TG - 0050	2.5	3.125	4.16	80
2	DG – 2	0.11	0.138	0.4	80
3	Gen1_Imp Actual	0.54	0.635	0.38	85
4	Gen_Imp_Typial	0.54	0.635	0.38	85
5	Gen 2	0.25	0.294	0.38	85
6	Gen 4	0.25	0.294	0.38	85
7	GG-1	0.47	0.588	4.16	80
8	GG-2	0.47	0.588	4.16	80

3.3 Sistem Transmisi dan Distribusi

3.3.1 Sistem Transmisi

PT. VICO Indonesia mempunyai dua lapangan, yaitu lapangan Badak (unit operasi Badak) dan lapangan Nilam (unit operasi Nilam), yang dihubungkan dengan sistem transmisi tegangan 33 kV dengan jarak 75 km. Tegangan keluaran dari generator pada unit Badak sebesar

4,16 kV dinaikkan menjadi 33 kV menggunakan transformator *step up*. Pada unit Nilam, tegangan 33 kV diturunkan dengan transformator *step down* menjadi tegangan 4,16 kV yang menuju sistem, dan tegangan 0,38 kV yang langsung menuju ke beban. Sistem transmisi ini menyalurkan daya dari unit Badak ke unit Nilam. Untuk menghubungkan antara unit Badak dan Nilam digunakan kabel transmisi dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada table 3.3.

Tabel 3.3 Data Spesifikasi Kabel Transmisi

ID	kV	Conductor /Phase	Conductor /Cable	Length (m)
Badak/ Nilam	35	1	3/C	7500
Badak/ Nilam2	35	1	3/C	7500

3.3.2 Sistem Distribusi

Pada PT. VICO Indonesia, sistem distribusi yang digunakan ialah distribusi tegangan menengah 4,16 kV dengan sistem radial. Pada sistem distribusi ini, aliran daya dari generator disalurkan pada dua buah *feeder* dengan tegangan yang sama. Dua buah *feeder* tersebut dihubungkan oleh tie *circuit breaker*. Sistem distribusi ini dapat meningkatkan keandalan pada PT. VICO Indonesia, karena jika terjadi gangguan pada salah satu *feeder*, maka *feeder* yang lain dapat dipisahkan dengan tie *circuit breaker*. Pada sistem distribusi, untuk dapat mengalirkan arus listrik ke beban maka digunakan kabel. Spesifikasi kabel pada yang digunakan berbeda-beda tergantung jenis peralatannya. Berikut ini data spesifikasi kabel yang digunakan pada unit Badak dan Nilam pada tabe 3.4.

Tabel 3.4 Data Spesifikasi Kabel Distribusi

ID	kV	Conductor /Phase	Conductor /Cable	Size (mm ²)	Length (m)
Cable9	5	1	3/C	50	100
Cable12	5	1	3/C	185	18
Cable14	0,6	1	1/C	400	5
Cable16	5	1	3/C	50	100
Cable19	33	1	1/C	50	50
Cable20	33	1	1/C	50	50
Cable26	0,6	2	3/C	120	500

Tabel 3.4 Data Spesifikasi Kabel Distribusi (Lanjutan)

ID	kV	Conductor /Phase	Conductor /Cable	Size (mm ²)	Length (m)
CableB29	5	1	1/C	150	350
H-001	5	2	3/C	185	35
H-002	5	2	3/C	185	35
H-3	5	1	1/C	35	6500
H-003	5	2	3/C	185	35
H-4	5	1	1/C	50	175
H-006	5	1	3/C	50	50
H-009	5	1	3/C	50	70
H-010	5	1	3/C	95	870
H-011	5	1	3/C	95	900

3.4 Kapasitas Trasformator

Dengan sistem distribusi dengan level tegangan utama sebesar 4,16 kV dan sistem transmisi tegangan 33 kV, diperlukan penurunan tegangan yang menuju ke beban dan penaikkan tegangan pada sistem transmisi antar lapangan/unit. Pada beban sendiri diperlukan tegangan 0,38 kV untuk proses operasinya. Berikut ini ditampilkan data transformator pada unit operasi Badak dan Nilam PT. VICO Indonesia pada Tabel 3.3.

Tabel 3.5 Data Kapasitas Transformator pada Unit Operasi Badak dan Nilam

No	ID Trafo	MVA	Tegangan (kV)	
			Primer	Sekunder
1	T1	0.225	4.16	0.38
2	T2	0.225	4.16	0.38
3	T 3	0.75	4.16	0.38
4	T4	3	4.16	33
5	T6	0.5	4.16	0.38
6	T7	0.75	4.16	0.38
7	T8	0.225	4.16	0.38
8	T10	1	4.16	0.38

Tabel 3.5 Data Kapasitas Transformator pada Unit Operasi Badak dan Nilam (Lanjutan)

No	ID Trafo	MVA	Tegangan (kV)	
			Primer	Sekunder
9	T21	0.225	4.16	0.38
10	T22	0.075	4.16	0.38
11	T23	0.075	4.16	0.38
12	T24	0.75	4.16	0.38
13	T25	0.75	4.16	0.38
14	T48	2	4.16	0.38
15	T-1000	3	4.16	33
16	T-1001	2	4.16	0.38
17	T-1002	0.63	4.16	0.38
18	T-1004	2	4.16	0.38
19	T 100	0.5	33	4.16
20	T-101	0.075	4.16	0.38
21	T-102	0.05	4.16	0.38
22	T-103	0.3	0.38	4.16
23	T-104	0.225	4.16	0.38
24	T-201	0.63	33	0.38
25	T-401	0.63	33	0.38
26	T-501	0.63	33	0.38
27	T-601	0.63	33	0.38

3.5 Kapasitas Beban

Kapasitas beban pada PT. VICO Indonesia unit Badak dan Nilam ialah sebesar 15,098 MW, dengan total beban motor sebesar 4,639 MW dan total beban static 10,45 MW. Berikut ini data kapasitas motor dan *lump load* pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

Tabel 3.6 Data Kapasitas Motor pada Unit Badak dan Nilam

No	ID	Rating	kV
1	Ins Air New2	50 HP	0,38
2	Inst Air New 1	50 HP	0,38
3	M-7610A	300 HP	0.38
4	M-7610B	300 HP	0.38
5	M-7610C	300 HP	0.38
6	M-7610D	300 HP	0.38
7	Mtr1	50 HP	0.38
8	Mtr6	50 HP	0.38
9	Mtr7	20 HP	0.38
10	Mtr8	10 HP	0.38
11	Mtr9	15 HP	0.38
12	Mtr11	15 HP	0.38
13	Mtr12	15 HP	0.38
14	Mtr13	15 HP	0.38
15	Mtr14	15 HP	0.38
16	Mtr15	15 HP	0.38
17	Mtr16	15 HP	0.38
18	Mtr 17	15 HP	0.38
19	Mtr18	15 HP	0.38
20	P-4820	600 HP	4.16
21	P-4830	600 HP	4.16
22	P-2500A	450 HP	4
23	P-2500B	450 HP	4
24	P-2500C	450 HP	4
25	P-5460A	75 HP	0,38
26	P-5460B	75 HP	0,38
27	B-20 ExDOS	75 HP	0,38

Tabel 3.7 Data Kapasitas Lump Load pada Unit Badak dan Nilam

No	ID	Rating	kV
1	LAB	48 kVA	0,38
2	LUMP-201	352 kVA	0,38
3	LUMP-400	30 kVA	0,38
4	LUMP-401	250 kVA	0,38
5	LUMP-DP1	297 kVA	0,38
6	LUMP-DP01	15,5 kVA	0,38
7	LUMP-DP5	76,7 kVA	0,38
8	LUMP-DP10	78 kVA	0,38
9	LUMP-DP11	33 kVA	0,38
10	LUMP-DP12	94 kVA	0,38
11	LUMP-DP13	438 kVA	0,38
12	LUMP-DP14	206 kVA	0,38
13	LUMP-DP16	220 kVA	0,38
14	LUMP-DP25	228 kVA	0,38
15	LUMP-DP35A	10 kVA	0,38
16	LUMP-DP88/89	206 kVA	0,38
17	LUMP-DP90	82 kVA	0,38
18	LUMP-DP141	56 kVA	0,38
19	LUMP-DP145	103 kVA	0,38
20	LUMP-DP149	20 kVA	0,38
21	LUMP-DP162	25 kVA	0,38
22	LUMP-DP701	150 kVA	0,38
23	LUMP-DP1002	101 kVA	0,38
24	LUMP-DPA	151 kVA	0,38
25	LUMP-MCC1	59 kVA	0,38
26	LUMP-MCC1A	40,6 kVA	0,38
27	LUMP-MCC3	184 kVA	0,38
28	LUMP-MCC4B	167 kVA	0,38

Tabel 3.7 Data Kapasitas Lump Load pada Unit Badak dan Nilam (Lanjutan)

No	ID	Rating	kV
29	LUMP-MCC5	323 kVA	0,38
30	LUMP-MCC6	350 kVA	0,38
31	LUMP-MCC6A	206 kVA	0,38
32	LUMP-MCC6B	350 kVA	0,38
33	LUMP-MCC7	605 kVA	0,38
34	LUMP-MCC8	440 kVA	0,38
35	LUMP-MCC10	126 kVA	0,38
36	LUMP-MCC14B	880 kVA	0,38
37	LUMP-MCC1000	957 kVA	0,38
38	LUMP-MCC1003	957 kVA	0,38
39	LUMP-MCC1004	395 kVA	0,38
40	LUMP-PUMPSTA	88 kVA	0,38
41	LUMP-SAT1	60 kVA	0,38
42	LUMP-SAT5	60 kVA	0,38
43	LUMP-SAT6	60 kVA	0,38
44	LUMP-Swgr2	70 kVA	0,38
45	LUMP-TUNU	420 kVA	0,38
46	LumpPWD-1001	80 kVA	0,38
47	MP COMP	297 kVA	0,38
48	New Office	380 kVA	4

3.6 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan pada PT. VICO Indonesia digunakan untuk mengamankan sistem dari gangguan hubung singkat satu fasa dan dua fasa ke tanah. Sistem pentanahan ini digunakan pada peralatan generator dan transformator. Pemilihan sistem pentanahan harus sesuai dengan level tegangan dan beban, hal ini dikarenakan sistem pentanahan dapat mempengaruhi besar arus hubung singkat yang mengalir ke tanah. Sistem pentanahan pada PT. VICO ditunjukkan pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7.

Tabel 3.8 Data Sistem Pentanahan Generator

No	ID	Rating Tegangan (kV)	Hubungan Belitan	Pentanahan
1	TG - 6700	4.16	Bintang	NGR 36 A
2	TG – 6710	4.16	Bintang	NGR 36 A
3	TG – 6720	4.16	Bintang	NGR 36 A
4	DG – 1	4.16	Bintang	NGR 36 A
5	DG – 4	0.38	Bintang	Solid
6	DG - 5	0.38	Bintang	Solid
7	TG - 0050	4.16	Bintang	NGR 36 A
8	DG – 2	0.4	Bintang	Solid
9	Gen 1_Imp Actual	0.38	Bintang	Solid
10	Gen_Imp_Typical	0.38	Bintang	Solid
11	Gen 2	0.38	Bintang	Solid
12	Gen 4	0.38	Bintang	Solid
13	GG-1	4.16	Bintang	NGR 36 A
14	GG-2	4.16	Bintang	NGR 36 A

Tabel 3.9 Data Sistem Pentanahan Transformator

No	ID	Tegangan (Kv)		Hubungan Belitan	Pentanahan
		Primer	Sekunder		
1	T1	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
2	T-2	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
3	T 3	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
4	T4	4.16	33	Delta-Bintang	Solid
5	T6	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid

Tabel 3.9 Data Sistem Pentanahan Transformator (Lanjutan)

No	ID	Tegangan (Kv)		Hubungan Belitan	Pentanahan
		Primer	Sekunder		
6	T7	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
7	T8	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
8	T10	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
9	T21	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
10	T22	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
11	T23	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
12	T24	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
13	T25	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
14	T48	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
15	T-1000	4.16	33	Delta-Bintang	Solid
16	T-1001	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
17	T-1002	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
18	T-1004	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
19	T 100	33	4.16	Delta-Bintang	Solid
20	T-101	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
21	T-102	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid

Tabel 3.9 Data Sistem Pentanahan Transformator (Lanjutan)

No	ID	Tegangan (Kv)		Hubungan Belitan	Pentanahan
		Primer	Sekunder		
22	T-103	0.38	4.16	Bintang-Delta	Solid
23	T-104	4.16	0.38	Delta-Bintang	Solid
24	T-201	33	0.38	Delta-Bintang	Solid
25	T-401	33	0.38	Delta-Bintang	Solid
26	T-501	33	0.38	Delta-Bintang	Solid
27	T-601	33	0.38	Delta-Bintang	Solid

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISA *ARC FLASH* DI PT. VICO INDONESIA

4.1 Nilai Energi Busur Api (*Arc Flash*) Kondisi *Existing*

Untuk dapat mengetahui nilai energi busur api (*arc flash*) di PT. VICO Indonesia pada kondisi *existing* dengan simulasi menggunakan *software* ETAP. Simulasi ini untuk mengetahui energi busur api dilakukan pada semua bus yang ada pada unit Badak dan unit Nilam PT. VICO Indonesia. Sehingga pada setiap bus dapat diketahui nilai arus *bolted fault* (Ibf), arus *arcing* (Ia), *fault clearing time* (FCT), insiden energi, dan kategori level energi. Data-data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Existing* Unit Badak

BUS ID	Ibf (kA)	Ia (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori Level
DP-16	7,14	2,61	0,03	0,30	Level 0
MCC-1	6,62	2,52	0,03	0,29	Level 0
MCC-1A	6,07	2,06	2,44	19,14	Level 3
MCC-2	21,23	3,74	4,05	60,61	>Max.
MCC-3	6,31	2,46	0,03	0,29	Level 0
MCC-4A	19,84	3,62	2,56	37,03	Level 4
MCC-4B	19,84	3,62	2,56	37,03	Level 4
MCC-5	10,27	2,64	73,35	754,30	>Max.
MCC-6	24,80	4,75	0,03	0,58	Level 0
MCC-6A	21,31	4,41	0,03	0,54	Level 0
MCC-6B	17,11	3,97	0,03	0,48	Level 0
MCC-8	26,13	4,14	0,78	13,05	Level 3
MCC-14A	36,06	5,68	0,03	0,70	Level 0
MCC-14B	34,40	5,55	0,03	0,69	Level 0
MCC22	42,14	6,12	0,03	0,76	Level 0

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Existing* Unit Badak (Lanjutan)

BUS ID	Ibf (kA)	Ia (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm2)	Kategori Level
Station #1-A	17,47	16,79	6,40	126,70	>Max.
Station #1-B	17,47	16,79	6,40	126,70	>Max.
SWGR-5	4,81	4,73	0,12	0,58	Level 0
SWGR-8	12,25	11,85	0,60	8,19	Level 3
SWGR-11A	25,22	4,78	0,03	0,37	Level 0
SWGR-11B	21,67	3,78	5,39	50,90	>Max.
SWGR-14	15,27	14,71	0,37	6,31	Level 2
SWGR-15	15,21	14,66	0,60	10,31	Level 3
SWGR-16A	37,79	5,81	0,03	0,45	Level 0
SWGR-16B	37,21	5,76	0,03	0,45	Level 0
SWGR-19	16,06	15,46	0,12	2,10	Level 1
SWGR-20	15,46	14,89	0,78	13,61	Level 3
SWGR-41	7,49	7,31	0,12	0,93	Level 0

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Existing* Unit Nilam

BUS ID	Ibf (kA)	Ia (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm2)	Kategori Level
DP-701	5,18	1,91	0,36	2,59	Level 1
DP-1002	19,41	4,22	0,03	0,51	Level 0
MCC SAT2	19,15	4,19	0,03	0,51	Level 0
MCC SAT #6	11,39	3,27	0,03	0,24	Level 0
MCC-400	18,27	3,48	3,53	48,86	>Max.
MCC-1001	36,69	5,72	0,23	5,45	Level 2
MCC-1003	40,66	6,01	0,23	5,75	Level 2
MCC-1004	34,00	5,52	0,08	1,82	Level 1

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Existing* Unit Nilam (Lanjutan)

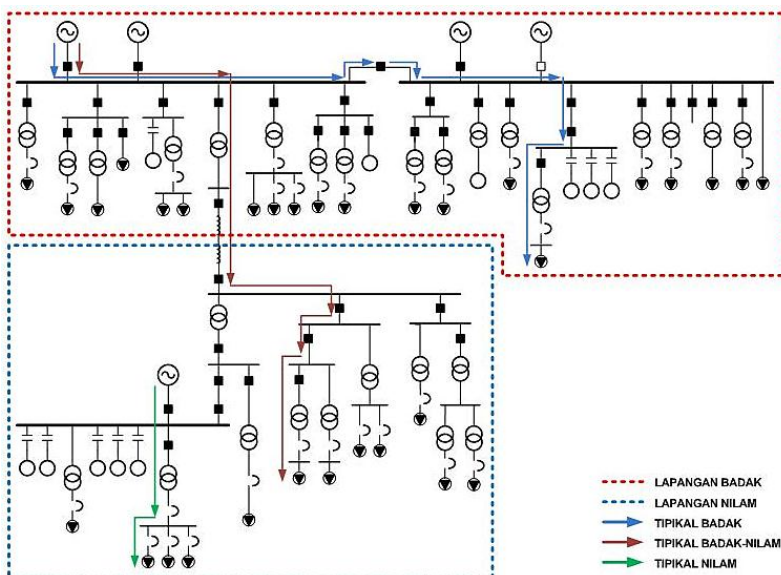
BUS ID	Ibf (kA)	Ia (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm2)	Kategori Level
SAT1-SWRK	2,94	1,45	1,86	9,51	Level 3
SWG/MCC-1000	8,16	7,95	2,07	18,28	Level 3
SWGR-1001	0,93	0,93	0,96	17,96	Level 3
SWGR-1003A	31,49	4,52	21,64	247,84	>Max.
SWGR-1003B	42,30	5,21	8,98	119,87	>Max.
SWGR-1005	8,04	7,83	1,76	15,24	Level 3
SWYRD SAT1	0,86	0,86	0,12	2,01	Level 1
SWYRD SAT2	0,91	0,91	0,64	11,80	Level 3
SWYRD SAT4	0,87	0,87	0,80	14,06	Level 3
SWYRD SAT5	0,82	0,82	0,48	7,93	Level 2

Dari hasil simulasi energi busur api pada kondisi *existing* di atas, dapat diketahui bahwa terdapat bus dengan nilai energi busur api yang besar yang mencapai kategori level maksimum atau lebih besar dari level 4. Menurut NFPA 70E, energi busur api dengan level maksimum tidak terdapat rekomendasi untuk *personal protective equipment* (PPE) bagi pekerja. Sehingga besar energi kategori level maksimum harus dapat diturunkan. Dari hasil simulasi tersebut juga dapat diketahui bahwa terdapat bus dengan *fault clearing time* (FCT) dengan waktu yang sangat cepat. Nilai energi busur api yang kecil dan waktu *fault clearing time* (FCT) yang cepat ini dikarenakan rele pengaman yang terpasang belum terkoordinasi dengan benar.

4.2 Analisa Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa

Besar nilai enegi busur api yang timbul dapat dipengaruhi oleh koordinasi rele pengaman yang baik. Seperti yang diketahui bahwa koordinasi rele pengaman pada kondisi *existing*, energi busur api yang timbul masih bernilai besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan *restting* pada rele pengaman.

Sebelum melakukan *restting* perlu dilakukan pemilihan tipikal yang mewakili koordinasi sistem secara keseluruhan. Setelah itu dapat dilakukan analisa terlebih dahulu mengenai *setting* dan data rele pada kondisi *existing* pada tiap tipikal. *Setting* rele tersebut dapat digambarkan pada kurva *Time Current Curve* (TCC) pada *software* ETAP. Untuk *resetting* rele pengaman pada PT. VICO Indonesia ini digunakan tiga tipikal. Tipikal-tipikal ini dipilih berdasarkan saluran terpanjang dari generator menuju ke beban, dan memiliki beban dan rele pengaman yang terbanyak.

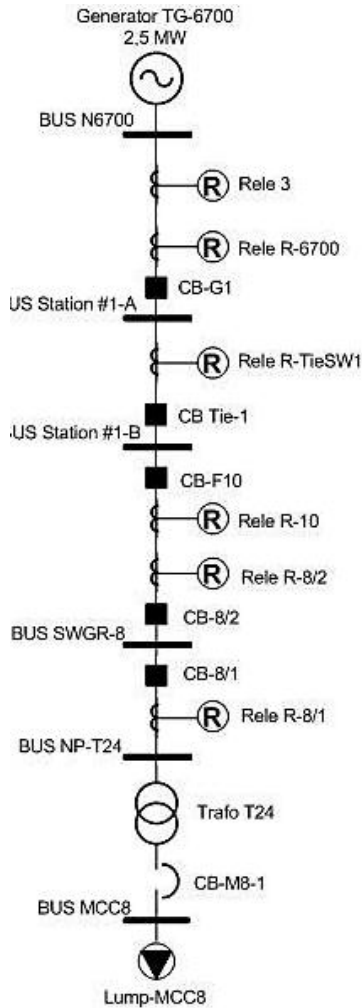


Gambar 4.1 Tipikal Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa

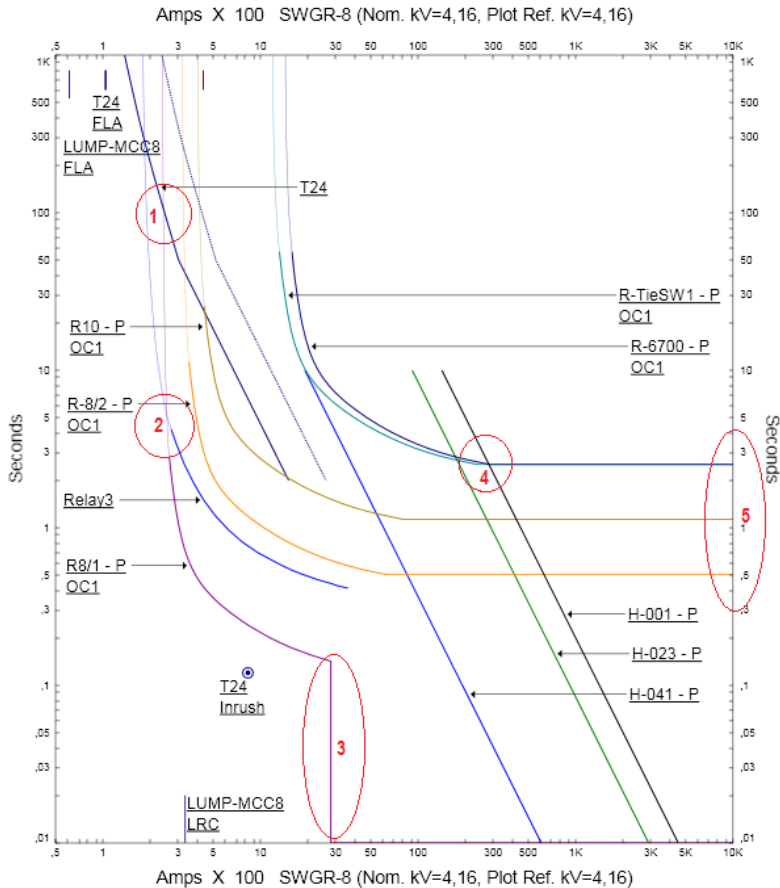
4.2.1 Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal Badak

Tipikal Badak ini dimulai dari Generator TG-6700 sampai beban Lump LUMP-MCC8. Pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran terpanjang dengan beban terjauh dari generator yang ada di unit Badak. Rele-rele yang ada pada tipikal Badak ini antara lain LVCB CB-M8-1, Rele R-8/1, Rele R-8/2, Rele R-10, Rele R-TieSW1, Rele R-6700, dan Rele 3. *Single Line Diagram* tipikal Badak dapat dilihat pada Gambar

4.2. Untuk plot kurva TCC rele tipikal Badak kondisi *existing* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 *Single Line Diagram* Koordinasi Tipikal 1 Badak



Gambar 4.3 Kurva TCC *Existing* Tipikal Badak

Dari kurva TCC pada Gambar 4.3, dapat diketahui bahwa rele pengaman arus lebih pada *existing* tipikal Badak masih belum terkoordinasikan dengan baik. Seperti yang ditunjukkan oleh nomor satu, bahwa kurva invers rele R8/1 bertabrakan dengan *damage curve* trafo T24. Kemudian pada nomor dua, kurva rele R8/1 bertabrakan dengan kurva rele Relay3. Untuk kurva rele Relay3 sendiri yang merupakan pengaman dari generator masih berada di bawah FLA generator TG-6700. Pada nomor tiga, rele R8/1 masih mempunyai

waktu operasi 0,01 detik. Dimana seharusnya waktu operasi rele arus lebih ialah 0,1 detik. Untuk nomor 4, kurva rele R-TieSW1 dan rele R-6700 mempunyai waktu operasi yang sama. Hal ini mengakibatkan kedua rele tersebut akan beroperasi secara bersamaan saat terjadi gangguan. Kemudian pada nomor lima dapat dilihat bahwa *grading time* atau *interval* waktu antar rele terlalu lama, dimana *grading time* yang diperbolehkan ialah 0,2 – 0,4 detik.

Setelah dilakukan analisa terhadap kurva TCC *existing* tipikal Badak di atas, dapat diketahui bahwa perlu dilakukan *resetting* terhadap koordinasi rele arus lebih tipikal badak. Berikut ini perhitungan untuk *resetting* dari masing-masing rele arus lebih tipikal Badak.

1. LVCB – M8 – 1

Manufaktur : Merlin Gerlin
 Model : STR 58U
 FLA sekunder T24 : 1140 A
 Sensor ID : 1250 Ampere
 Rating plug : 1 *multiple*

Long Time

LT Pickup :

$$1,05 \times \text{FLA Sekunder T24} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Sekunder T24}$$

$$1,05 \times 1140 < \text{Iset} < 1,4 \times 1140$$

$$1197 < \text{Iset} < 1596$$

$$\frac{1197}{1250} < \text{Tap} < \frac{1596}{1250}$$

$$0,9576 < \text{Tap} < 1,2768$$

(Range : 0,8 ; 0,85 ; 0,88 ; 0,9 ; 0,92 ; 0,95 ; 0,98 ; 1,0)

Dipilih Tap = 0,98

Iset = 1225 A

Dipilih LT Band = 15

Short Time

ST Pickup :

$$1,6 \times \text{FLA Sekunder T24} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Kontribusi Sekunder T24}$$

$$1,6 \times 1140 < \text{Iset} < 0,8 \times 18270$$

$$1824 < \text{Iset} < 14616$$

$$\frac{1824}{1250} < \text{Tap} < \frac{14616}{1250}$$

$1,4592 < \text{Tap} < 11,6928$
 (Range : 1,5 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 8 ; 10)
 Dipilih Tap = 1,5
 Iset = 1837,5 A
 Dipilih ST Band = 0,3 s

2. Relay R8/1

Manufakturr : GE – Multilin
 Model : SR – 750 / 760
 FLA primer T24 : 104,1 A
 Isc max Bus NP-T24 : 10780 A
 Isc min Bus NP-T24 : 6420 A
 Rasio CT : 200 / 5
 Tipe kurva : IAC – Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA Primer T24} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Primer T24} \\
 1,05 \times 104,1 &< \text{Iset} < 1,4 \times 104,1 \\
 109,305 &< \text{Iset} < 145,74 \\
 \frac{109,305}{\frac{nCT}{200}} &< \text{Tap} < \frac{145,74}{\frac{nCT}{200}} \\
 \frac{109,305}{200} &< \text{Tap} < \frac{145,74}{200} \\
 0,5465 &< \text{Tap} < 0,7287
 \end{aligned}$$

(Range : 0,05 - 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 0,7 In
 Iset = 140 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi = 0,1 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (second)
 M = Time Dial (Td)

I = Isc Max 4 Cycle
 $I \text{ Pick Up}$ = Iset
 A, B, C, D, E = Konstanta

$$0,1s = M \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{10780}{140}\right) - 0,8} + \frac{-0,418}{\left(\left(\frac{10780}{140}\right) - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\left(\frac{10780}{140}\right) - 0,8\right)^3} \right)$$

$$0,1s = M \times (0,21905391)$$

$$M = \frac{0,1}{0,21905391}$$

$$M = 0,456508628$$

Dipilih *Time Dial* = 2

Instantaneous Pick Up

$$\text{Isc max 4 Cycle Bus MCC-8} \times \frac{\text{kV Sekunder}}{\text{kV Primer}} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min Bus NP-T24}$$

$$24090 \times \frac{0,38}{4,16} < \text{Iset} < 0,8 \times 6420$$

$$2200,5 < \text{Iset} < 5136$$

$$\frac{2200,5}{n_{CT}} < \text{Tap} < \frac{5136}{n_{CT}}$$

$$\frac{2200,5}{200} < \text{Tap} < \frac{5136}{200}$$

$$11,003 < \text{Tap} < 25,68$$

$$11,003 < \text{Tap} < 25,68$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 12 In

Iset = 2400 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Delay* = 0,1 s

3. Relay R-8/2

Manufakturr : GE – Multilin

Model : SR – 750 / 760

FLA total : 245,88 (FLA Primer T24 + FLA Motor P-4820 + FLA Motor P-4830)

Isc max Bus SWGR-8 : 10480 A
 Isc min Bus SWGR-8 : 6510 A
 Rasio CT : 400 / 5
 Tipe kurva : IAC – Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Total}$$

$$1,05 \times 245,88 < \text{Iset} < 1,4 \times 245,88$$

$$258,174 < \text{Iset} < 344,232$$

$$\frac{258,174}{400} < \text{Tap} < \frac{344,232}{400}$$

$$0,64543 < \text{Tap} < 0,86058$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 0,75 In

Iset = 300 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0,3 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (second)

M = Time Dial (Td)

I = Isc Max 4 Cycle

I Pick Up = Iset

A,B,C,D,E = Konstanta

$$0,3s = M \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{10480}{300}\right) - 0,8} + \frac{-0,418}{\left(\left(\frac{10480}{300}\right) - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\left(\frac{10480}{300}\right) - 0,8\right)^3} \right)$$

$$0,3s = M \times (0,2327293)$$

$$M = \frac{0,3}{0,2327293}$$

$$M = 1,2890511$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Dial* = 2

Instantaneous Pick Up

$$1,6 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus SWGR-8}$$

$$1,6 \times 245,88 < \text{Iset} < 0,8 \times 6510$$

$$393,408 < \text{Iset} < 5208$$

$$\frac{393,408}{400} < \text{Tap} < \frac{5208}{400}$$

$$0,98532 < \text{Tap} < 13,02$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 6,8 In

Iset = 2720 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Delay* = 0,3 s

4. Relay R10

Manufakturn : GE – Multilin

Model : SR – 750 / 760

FLA total : 245,88 (FLA Primer T24 + FLA Motor P-4820 + FLA Motor P-4830)

Isc max Bus Station #1B : 14770 A

Isc min Bus Station #1B : 8110 A

Rasio CT : 400 / 5

Tipe kurva : IAC – Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Total}$$

$$1,05 \times 245,88 < \text{Iset} < 1,4 \times 245,88$$

$$258,174 < \text{Iset} < 344,232$$

$$\frac{258,174}{400} < \text{Tap} < \frac{344,232}{400}$$

$$0,64543 < \text{Tap} < 0,86058$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 0,75 In

Iset = 300 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0,3 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (second)

M = Time Dial (Td)

I = Isc Max 4 Cycle

I Pick Up = Iset

A,B,C,D,E = Konstanta

$$0,3 \text{ s} = M \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{14770}{300}\right) - 0,8} + \frac{-0,418}{\left(\left(\frac{14770}{300}\right) - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\left(\frac{14770}{300}\right) - 0,8\right)^3} \right)$$

$$0,3 \text{ s} = M \times (0,2254418)$$

$$M = \frac{0,3}{0,2254418}$$

$$M = 1,3307202$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Dipilih Time Dial = 2

Instantaneous Pick Up

$$1,6 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus Station \#1B}$$

$$1,6 \times 245,88 < \text{Iset} < 0,8 \times 8110$$

$$393,408 < \text{Iset} < 6488$$

$$\frac{393,408}{400} < \text{Tap} < \frac{6488}{400}$$

$$0,98532 < \text{Tap} < 16,22$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 6,8 In

Iset = 2720 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

Dipilih Time Delay = 0,3 s

5. Relay R-Tie SW1

Manufakturr	: GE – Multilin
Model	: SR – 750 / 760
FLA total	: 437,3
Isc max Bus Station #1B	: 10240A
Isc min Bus Station #1B	: 5940 A
Rasio CT	: 1200 / 5
Tipe kurva	: IAC – Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1.4 \times \text{FLA Total}$$

$$1.05 \times 433,7 < \text{Iset} < 1.4 \times 433,7$$

$$455,385 < \text{Iset} < 607,18$$

$$\frac{455,385}{1200} < \text{Tap} < \frac{607,18}{1200}$$

$$0,379487 < \text{Tap} < 0,505983$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 0,4 In

Iset = 480 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0,9 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (*second*)

M = *Time Dial* (Td)

I = Isc Max 4 Cycle

I *Pick Up* = Iset

A,B,C,D,E = Konstanta

$$0,9 \text{ s} = M \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{10240}{480}\right) - 0,8} + \frac{-0,418}{\left(\left(\frac{10240}{480}\right) - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\left(\frac{10240}{480}\right) - 0,8\right)^3} \right)$$

$$0,9 \text{ s} = M \times (0,2488602)$$

$$M = \frac{0,9}{0,2488602}$$

$$M = 3,616486$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Dial* = 3,7

Instantaneous Pick Up

$$1,6 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus Station \#1-B}$$

$$1,6 \times 433,7 < \text{Iset} < 0,8 \times 5940$$

$$693,92 < \text{Iset} < 4752$$

$$\frac{693,92}{1200} < \text{Tap} < \frac{4752}{1200}$$

$$0,578267 < \text{Tap} < 3,96$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 1,4 In

Iset = 1680 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Delay* = 0,9 s

6. Relay R-6700

Manufakturr	: GE – Multilin
Model	: SR – 750 / 760
FLA Generator TG-6700	: 433,7
Isc max kontribusi Generator TG-6700	: 3600 A
Isc min kontribusi Generator TG-6700	: 2170 A
Rasio CT	: 600 / 5
Tipe kurva	: IAC – Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Gen.TG-6700} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Gen.TG-6700}$$

$$1,05 \times 433,7 < \text{Iset} < 1,4 \times 433,7$$

$$455,39 < \text{Iset} < 607,18$$

$$\frac{455,39}{600} < \text{Tap} < \frac{607,18}{600}$$

$$0,758975 < \text{Tap} < 1,011967$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 0,8 In
 Iset = 480 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0,9 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (*second*)
 M = *Time Dial* (Td)
 I = Isc Max 4 Cycle
 I *Pick Up* = Iset
 A,B,C,D,E = Konstanta

$$0,9s = M \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{3600}{480}\right) - 0,8} + \frac{-0,418}{\left(\left(\frac{3600}{480}\right) - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\left(\frac{3600}{480}\right) - 0,8\right)^3} \right)$$

$$0,9 \text{ s} = M \times (0,3358088)$$

$$M = \frac{0,9}{0,3358088}$$

$$M = 2,7443905$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Dial* = 3,8

Instantaneous Pick Up

$1,6 \times \text{FLA Gen.TG-6700} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min kontribusi Gen. TG-6700}$

$$1,6 \times 433,7 < \text{Iset} < 0,8 \times 2170$$

$$693,92 < \text{Iset} < 1736$$

$$\frac{693,92}{600} < \text{Tap} < \frac{1736}{600}$$

$$1,156533 < \text{Tap} < 2,8933$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 2,85 In

Iset = 1710 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Delay* = 0,9 s

7. Relay 3

Manufakturr	: ABB
Model	: CO (Circuit Opening)
FLA Generator TG-6700	: 433,7
Isc max kontribusi Generator TG-6700	: 3600 A
Isc min kontribusi Generator TG-6700	: 2170 A
Rasio CT	: 600 / 5
Tipe kurva	: CO8 – Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Gen.TG-6700} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Gen.TG-6700}$$

$$1,05 \times 433,7 < \text{Iset} < 1,4 \times 433,7$$

$$455,39 < \text{Iset} < 607,18$$

$$\frac{455,39}{\frac{600}{5}} < \text{Tap} < \frac{607,18}{\frac{600}{5}}$$

$$3,79488 < \text{Tap} < 5,05983$$

(Range : 2,5 sampai 10 Sec - 5A)

Dipilih Tap = 4 In

Iset = 480 A

Time Dial

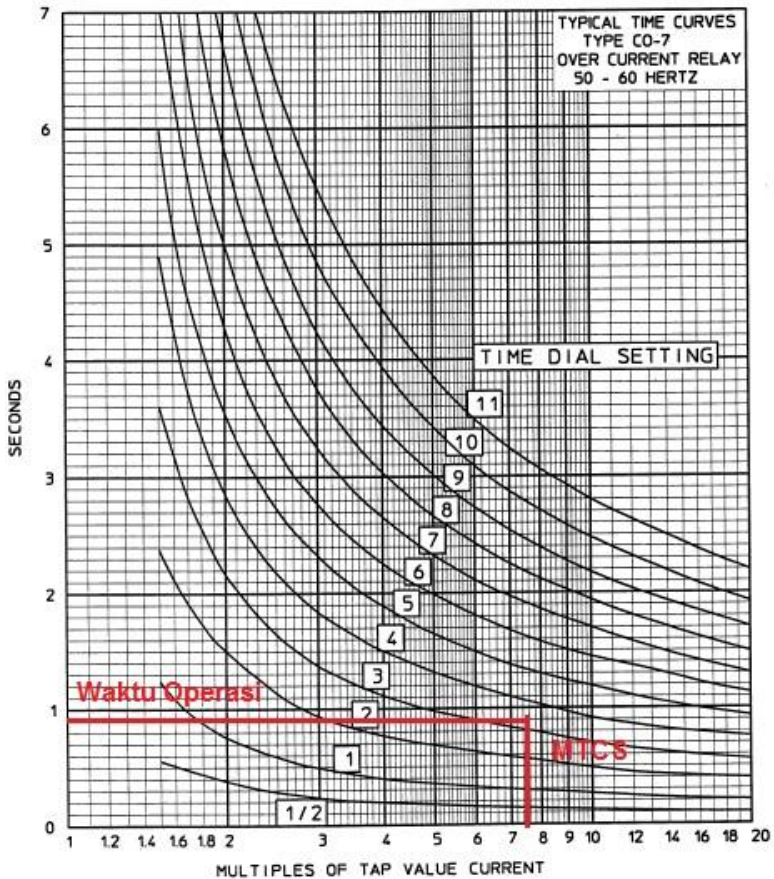
Waktu Operasi = 0,9 s

Multiple Tap Current Setting (MTCS)

$$\text{MTCS} = \frac{\text{Isc Max 4 cycle kontribusi Generator TG-6700}}{\text{Ipickup}}$$

$$= \frac{3600}{480} = 7,5$$

Untuk menentukan *time dial* berdasarkan nilai *Multiple Tap Current Setting (MTCS)* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.4 Kurva MTCS (*Multiple of Tap Current Setting*) CO7 – Moderately Inverse

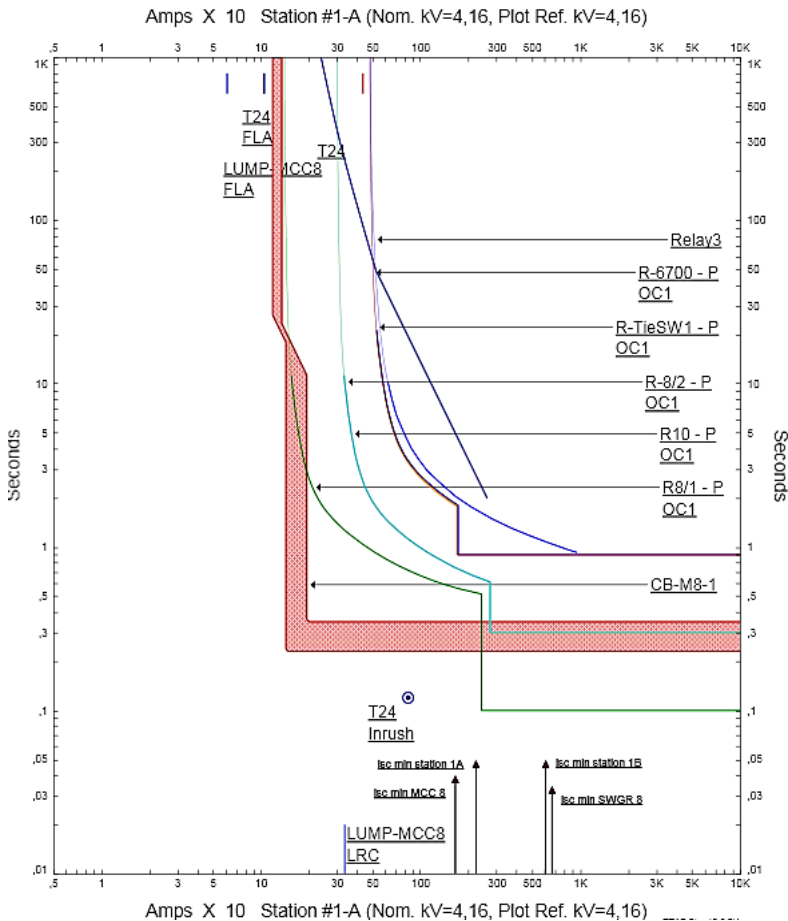
(Range : 0 sampai 100, dengan step 0.01)

Dipilih *Time Dial* = 5

Instantaneous Pick Up : *Disable* / tidak aktif

Time Delay : *Disable* / tidak aktif

Setelah dilakukan *resetting* pada rele arus lebih tipikal Badak sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan di atas, maka dapat dilakukan plot dari *resetting* rele arus lebih tipikal Badak dan dapat dilihat pada kurva TCC hasil *resetting* pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Kurva TCC *Resetting* Tipikal Badak

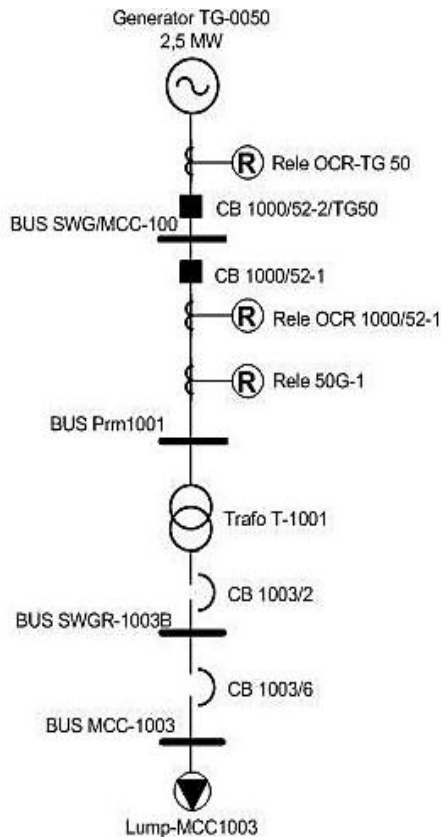
Dari kurva TCC *resetting* di atas dapat diketahui bahwa setelah dilakukan *resetting*, koordinasi rele pengaman arus lebih tipikal Badak

sudah cukup baik. Kurva rele yang semula bertabrakan, sudah tidak saling bertabrakan lagi dengan *damage curve* trafo atau dengan kurva rele lainnya. Selanjutnya waktu operasi rele LVCB-M8-1 diatur menjadi 0,3 detik, dikarenakan beban yang dilindungi ialah beban lump. Untuk waktu operasi rele R8/1 yang seharusnya 0,5 detik, *setting* waktunya dikembalikan 0,1 detik sesuai dengan waktu kerja rele karena arus hubung singkat maksimum pada tegangan rendah trafo lebih kecil dari arus hubung singkat minimum pada tegangan tinggi trafo. Kemudian *grading time* antar rele yang dipakai ialah 0,2 detik, sesuai dengan *grading time* yang diperbolehkan. Pengecualian untuk rele Tie-SW1 dan R-6700, waktu operasi dipilih 0,9 detik. Hal ini dikarenakan untuk menghindari tabrakan antara kurva rele R-6700 dengan rele dibawahnya. Untuk *time delay* rele Tie-SW1 dan rele R-6700 dibuat sama karena kedua rele ini berada pada level yang sama.

Dari kurva TCC di atas juga dapat dilihat bahwa masing-masing rele arus lebih fasa tipikal Badak dapat langsung mengamankan bus saat terjadi gangguan hubung singkat minimum di masing-masing bus tersebut. Dalam hal ini rele yang bekerja ialah rele 50 (*instantaneous*). Jika gangguan hubung singkat terjadi pada bus yang paling bawah atau paling dekat dengan beban (bus MCC8), maka rele LVCB-M8-1 akan bekerja secara *instantaneous*. Sedangkan untuk rele di atasnya, rele 51 (*invers*) yang akan bekerja. Hal ini dikarenakan antara bus MCC8 dengan bus SWGR-8 di atasnya dipisahkan oleh transformator T24.

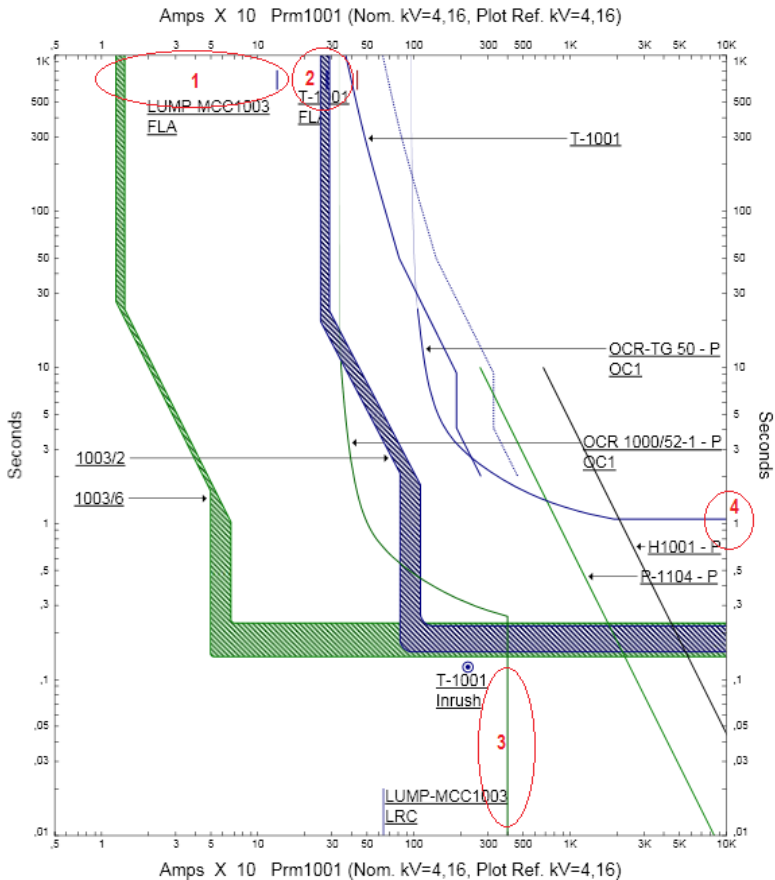
4.2.2 Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal Nilam

Tipikal Nilam ini dimulai dari Generator TG-0050 sampai beban lump LUMP-MCC1003. Pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran terpanjang dengan beban terjauh dari generator yang ada di unit Nilam. Rele-rele yang ada pada tipikal Nilam ini antara lain adalah LVCB-1003/6, LVCB-1003/2, Rele 50G-1, Rele OCR 1000/52-1, dan Rele OCR-TG 50. Pada tipikal ini Rele OCR-TG 50 sebagai pengaman dari generator, Rele 50G-1 sebagai pengaman primer trafo, Rele OCR 1000/52-1 sebagai *back up* dari Rele 50G-1 jika Rele 50G-1 tidak dapat bekerja seperti seharusnya, LVCB 1003/2 sebagai pengaman sekunder trafo, dan LVCB 1003/6 sebagai pengaman beban lump. *Single Line Diagram* tipikal Nilam dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6 *Single Line Diagram* Koordinasi Tipikal 1 Nilam

Dari *single line diagram* koordinasi tipikal Nilam di atas, selanjutnya dapat dibuat plot kurva TCC rele arus lebih tipikal Nilam pada kondisi *existing* pada ETAP 12.6. Hasil plot kurva TCC rele arus lebih tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.7. Dari plot kurva TCC tersebut dapat dilakukan analisa mengenai kondisi *existing* tipikal Nilam.



Gambar 4.7 Kurva TCC *Existing* Tipikal Nilam

Dari kurva TCC *existing* tipikal Nilam di atas dapat dilihat bahwa rele arus lebih fasa pada tipikal Nilam belum terkoordinasikan dengan baik. Pada nomor satu dapat dilihat bahwa kurva rele LVCB 1003/6 berada di bawah FLA LUMP MCC1003 yang merupakan beban yang dilindungi oleh rele tersebut. Hal ini mengakibatkan beban tidak dapat bekerja secara maksimal. Kemudian yang ditunjukkan oleh nomer dua, kurva rele LVCB 1003/2 masih menyentuh FLA trafo T-1001 yang dilindungi oleh rele tersebut. Pada nomor 3, rele OCR 1000/52-1 tidak

mempunyai waktu operasi *instantaneous*. Dimana seharusnya waktu operasi rele arus lebih ialah 0,1 detik. Selanjutnya pada nomer 4, *setting* waktu operasi dari rele OCR-TG-50 terlalu lama.

Setelah dilakukan analisa terhadap kurva TCC *existing* tipikal Nilam di atas, dapat diketahui bahwa perlu dilakukan *resetting* terhadap koordinasi rele arus lebih tipikal Nilam. Berikut ini perhitungan untuk *resetting* dari masing-masing rele arus lebih tipikal Nilam.

1. LVCB – 1003/6

Manufaktur : Merlin Gerlin

Model : STR 58U

FLA Lump-MCC1003 : 1454 A

Sensor ID : 3200 Ampere

Rating plug : 0,5 *multiple*

Long Time

LT Pickup :

$$1,05 \times \text{FLA Lump-MCC1003} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Lump-MCC1003}$$

$$1,05 \times 1454 < \text{Iset} < 1,4 \times 1454$$

$$1526,7 < \text{Iset} < 2035,6$$

$$\frac{1526,7}{1600} < \text{Tap} < \frac{2035,6}{1600}$$

$$0,9542 < \text{Tap} < 1,2722$$

(Range : 0,8 ; 0,85 ; 0,88 ; 0,9 ; 0,92 ; 0,95 ; 0,98 ; 1,0)

Dipilih Tap = 1

Iset = 1600 A

Dipilih LT Band = 30

Short Time

ST Pickup :

$$1,6 \times \text{FLA Lump-MCC1003} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus MCC-1003}$$

$$1,6 \times 1454 < \text{Iset} < 0,8 \times 21210$$

$$2326,4 < \text{Iset} < 16968$$

$$\frac{2326,4}{1600} < \text{Tap} < \frac{16968}{1600}$$

$$1,454 < \text{Tap} < 5,3025$$

(Range : 1,5 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 8 ; 10)

Dipilih Tap = 2

Iset = 3200 A

Dipilih ST Band = 0,2 s

2. LVCB – 1003/2

Manufaktur : Merlin Gerlin
Model : STR 58U
FLA sekunder T-1001 : 3039 A
Sensor ID : 3200 Ampere
Rating plug : 1 *multiple*

Long Time

LT Pickup :

$$1,05 \times \text{FLA sekunder T-1001} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sekunder T-1001}$$

$$1,05 \times 3039 < \text{Iset} < 1,4 \times 3039$$

$$3190,95 < \text{Iset} < 4254,6$$

$$\frac{3190,95}{3200} < \text{Tap} < \frac{4254,6}{3200}$$

$$0,997172 < \text{Tap} < 1,32956$$

(Range : 0,4 sampai 1,0, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 1

Iset = 3200 A

Dipilih LT Band = 15

Short Time

ST Pickup :

$$1,6 \times \text{FLA Sekunder T-1001} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus SWGR-1003B}$$

$$1,6 \times 3039 < \text{Iset} < 0,8 \times 21870$$

$$4762,4 < \text{Iset} < 16824$$

$$\frac{4762,4}{3200} < \text{Tap} < \frac{16824}{3200}$$

$$1,4915 < \text{Tap} < 5,4675$$

(Range : 1,5 sampai 10, dengan step 0,1)

Dipilih Tap = 1,5

Iset = 4800 A

Dipilih ST Band = 0,4 s

3. Relay 50G-1

Relay 50G-1

Manufaktur : GE – Multilin
Model : SR – 750 / 760
FLA Primer T-1001 : 277,6

Isc max Bus Prm 1001 : 6960 A
 Isc min Bus Prm 1001 : 4190 A
 Rasio CT : 300 / 5
 Tipe kurva : IAC-Very Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Primer T-1001} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Primer T-1001}$$

$$1,05 \times 277,6 < \text{Iset} < 1,4 \times 277,6$$

$$291,48 < \text{Iset} < 388,64$$

$$\frac{291,48}{300} < \text{Tap} < \frac{388,64}{300}$$

$$0,9716 < \text{Tap} < 1,295467$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 1,25 In

Iset = 375 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0,1 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C \right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C \right)^3} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (second)

M = Time Dial (Td)

I = Isc Max 4 Cycle

I Pick Up = Iset

A,B,C,D,E = Konstanta

$$0,1 \text{ s} = M \times \left(0,09 + \frac{0,7955}{\left(\frac{6960}{375} \right) - 0,1} + \frac{-1,2885}{\left(\left(\frac{6960}{375} \right) - 0,1 \right)^2} + \frac{7,9586}{\left(\left(\frac{6960}{375} \right) - 0,1 \right)^3} \right)$$

$$0,1 \text{ s} = M \times (0,130577)$$

$$M = \frac{0,1}{0,130577}$$

$$M = 0,7658305$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Dial* = 3,1

Instantaneous Pick Up

$$\text{Isc Max 4 Cycle Bus SWGR-1003B} \times \frac{\text{kV Sekunder}}{\text{kV Primer}} < \text{Iset} \\ < 0,8 \times \text{Isc Min Bus Prm 1001}$$

$$6960 \times \frac{0,38}{4,16} < \text{Iset} < 0,8 \times 4190$$

$$635,77 < \text{Iset} < 3352$$

$$\frac{635,77}{300} < \text{Tap} < \frac{3352}{300}$$

$$2,119231 < \text{Tap} < 11,17333$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 9 In

Iset = 2700 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Delay* = 0,1 s

4. Relay OCR 1000/52-1

Manufakturr : GE – Multilin

Model : SR – 745

FLA Primer T-1001 : 277,6

Isc max Bus Prm 1001 : 6960 A

Isc min Bus Prm 1001 : 4190 A

Rasio CT : 300 / 5

Tipe kurva : IAC-Very Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Primer T-1001} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Primer T-1001}$$

$$1,05 \times 277,6 < \text{Iset} < 1,4 \times 277,6$$

$$291,48 < \text{Iset} < 388,64$$

$$\frac{291,48}{300} < \text{Tap} < \frac{388,64}{300}$$

$$0,9716 < \text{Tap} < 1,295467$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 1,25 In

$$I_{set} = 375 \text{ A}$$

Time Dial

$$\text{Waktu Operasi} = 0,1 \text{ s}$$

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (*second*)

M = *Time Dial* (Td)

I = Isc Max 4 Cycle

I *Pick Up* = Iset

A,B,C,D,E = Konstanta

$$0,1s = M \times \left(0,09 + \frac{0,7955}{\left(\frac{6960}{375}\right) - 0,1} + \frac{-1,2885}{\left(\left(\frac{6960}{375}\right) - 0,1\right)^2} + \frac{7,9586}{\left(\left(\frac{6960}{375}\right) - 0,1\right)^3} \right)$$

$$0,1 \text{ s} = M \times (0,130577)$$

$$M = \frac{0,1}{0,130577}$$

$$M = 0,7658305$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Dial* = 3,1

Instantaneous Pick Up

$$I_{sc} \text{ Max 4 Cycle Bus SWGR-1003B} \times \frac{\text{kV Sekunder}}{\text{kV Primer}} < I_{set}$$

$$< 0,8 \times I_{sc} \text{ Min Bus Prm 1001}$$

$$6960 \times \frac{0,38}{4,16} < I_{set} < 0,8 \times 4190$$

$$635,77 < I_{set} < 3352$$

$$\frac{635,77}{300} < \text{Tap} < \frac{3352}{300}$$

$$2,119231 < \text{Tap} < 11,17333$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 9 In

Iset = 2700 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

Dipilih Time Delay= 0,1 s

5. Relay OCR-TG50

Manufakturr : GE – Multilin

Model : SR – 750 / 760

FLA generator TG-0050 : 433,7

Isc max kontribusi generator TG-0050 : 3600 A

Isc min kontribusi generator TG-0050 : 2250 A

Rasio CT : 600 / 5

Tipe kurva : IAC – Very Inverse

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA Gen. TG-0050} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Gen. TG-0050}$

$1,05 \times 433,7 < \text{Iset} < 1,4 \times 433,7$

$455,385 < \text{Iset} < 607,18$

$\frac{455,385}{600} < \text{Tap} < \frac{607,18}{600}$

$0,758975 < \text{Tap} < 1,011967$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 1 In

Iset = 600 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0,9 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (second)

M = Time Dial (Td)

I = Isc Max 4 Cycle
 $I \text{ Pick Up}$ = Iset
 A, B, C, D, E = Konstanta

$$0,9 \text{ s} = M \times \left(0,09 + \frac{0,7955}{\left(\frac{2250}{600}\right) - 0,1} + \frac{-1,2885}{\left(\left(\frac{2250}{600}\right) - 0,1\right)^2} + \frac{7,9586}{\left(\left(\frac{2250}{600}\right) - 0,1\right)^3} \right)$$

$$0,9 \text{ s} = M \times (0,226068)$$

$$M = \frac{0,9}{0,226068}$$

$$M = 3,9811$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Dial* = 4

Instantaneous Pick Up

$1,6 \times \text{FLA Gen. TG-005} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min kontribusi generator TG-0050}$

$$1,6 \times 433,7 < \text{Iset} < 0,8 \times 2250$$

$$693,92 < \text{Iset} < 1800$$

$$\frac{693,92}{600} < \text{Tap} < \frac{1800}{600}$$

$$1,1565 < \text{Tap} < 3$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 3 In

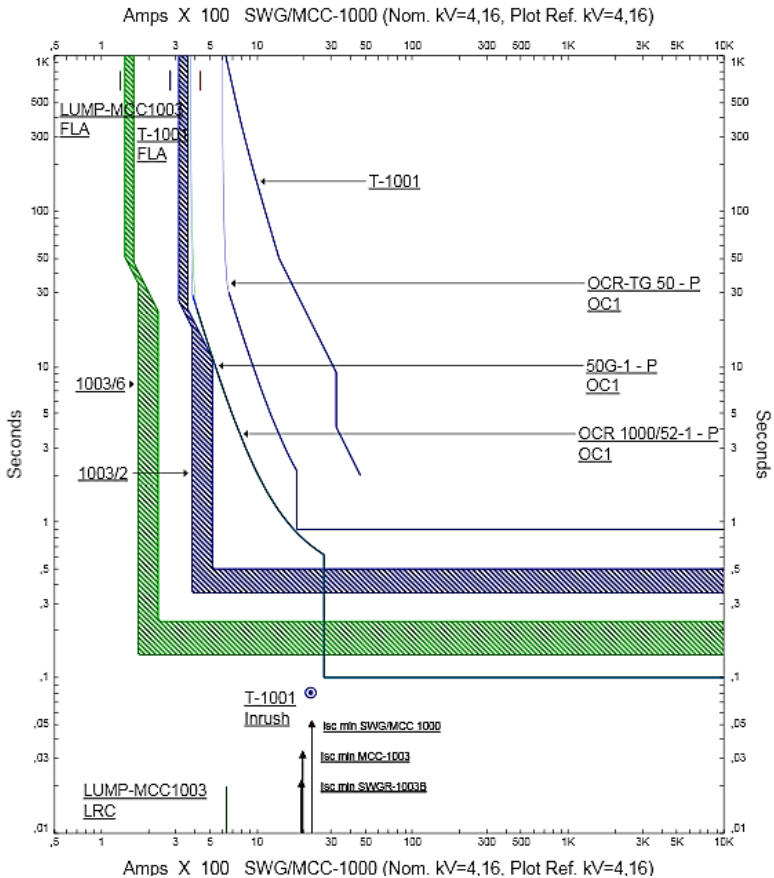
Iset = 1800 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Delay* = 0,9 s

Setelah dilakukan *resetting* pada rele arus lebih tipikal Nilam sesuai dengan perhitungan di atas, maka dapat dilihat plot kurva TCC hasil *resetting* pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kurva TCC *Resetting* Tipikal Nilam

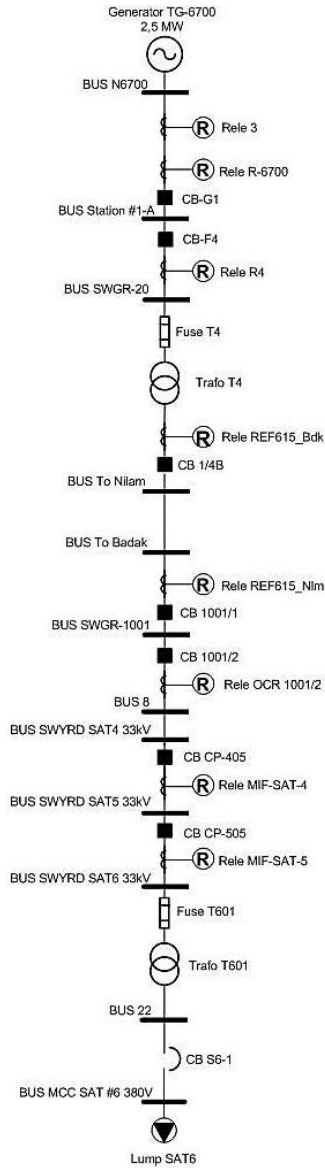
Dari kurva TCC *resetting* di atas dapat diketahui bahwa setelah dilakukan *resetting*, koordinasi rele pengaman arus lebih tipikal Nilam sudah cukup baik. Kurva rele LVCB 1003/6 dan LVCB 1003/2 sudah tidak menyentuh atau berada dibawah FLA beban LUMP-MCC1003 dan trafo T-1001. Sehingga beban lump dan trafo dapat bekerja secara maksimal. Selanjutnya waktu operasi rele LVCB 1003/6 diatur 0,2 detik, dikarenakan beban yang dilindungi ialah beban lump. Untuk waktu operasi rele OCR 1000/52-1 yang seharusnya 0,7 detik, *setting*

waktunya dikembalikan 0,1 detik sesuai dengan waktu kerja rele karena arus hubung singkat maksimum pada tegangan rendah trafo lebih kecil dari arus hubung singkat minimum pada tegangan tinggi trafo. Untuk *setting* rele OCR 1000/52-1 ini, nilai *setting* disamakan dengan rele 50G-1, karena rele OCR 1000/52-1 merupakan *back up* dari rele 50G-1 yang fungsinya untuk menjadi *back up* jika rele 50G-1 mengalami kegagalan dalam mengamankan gangguan. Selanjutnya *setting* waktu operasi dari rele OCR-TG-50 yang awalnya 1,1 detik, diatur menjadi 0,9 detik. *Setting* waktu operasi rele OCR-TG-50 dengan waktu 0,9 detik ini sendiri sebenarnya terlalu lama. Hal ini dilakukan untuk menghindari kurva rele OCR-TG-50 agar tidak bertabrakan atau menyentuh kurva rele dibawahnya.

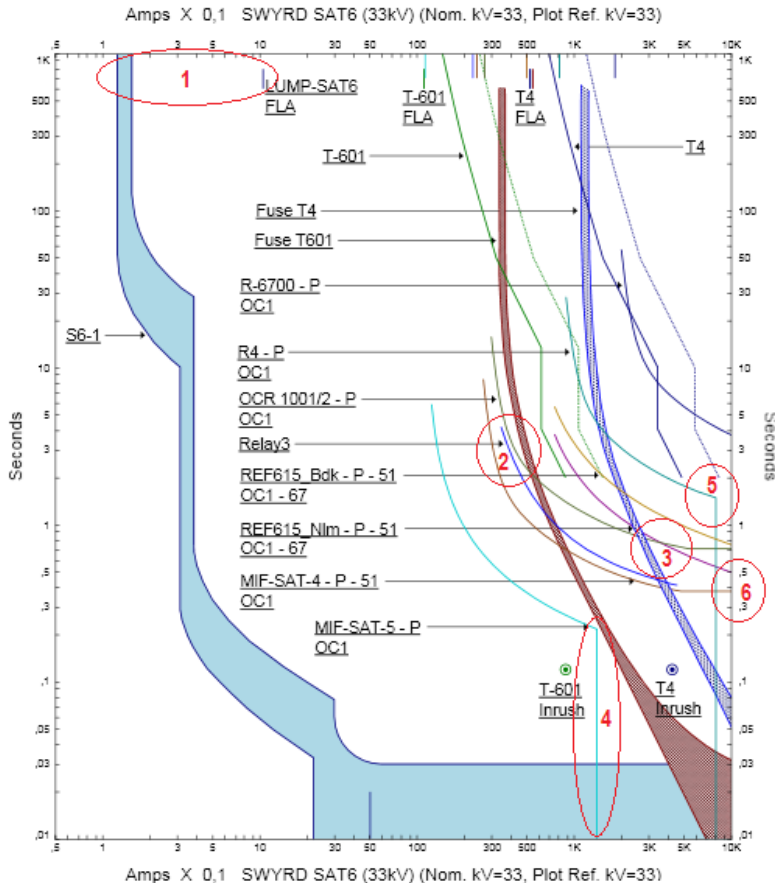
Dari kurva TCC di atas juga dapat dilihat bahwa masing-masing rele arus lebih fasa tipikal Nilam sudah dapat langsung mengamankan bus saat terjadi gangguan hubung singkat minimum di masing-masing bus tersebut. Untuk *case* ini rele yang bekerja ialah rele 50 (*instantaneous*). Jika gangguan hubung singkat terjadi pada bus yang paling bawah yaitu bus MCC-1003, maka rele LVCB-1003/6 dan LVCB 1003/2 akan bekerja secara *instantaneous*. Sedangkan untuk rele di atasnya, rele 51 (*invers*) yang akan bekerja. Hal ini dikarenakan antara bus MCC-1003 dengan bus SWG/MCC-1000 di atasnya dipisahkan oleh trafo T-1001.

4.2.3 Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal Badak- Nilam

Tipikal Badak-Nilam ini dimulai dari Generator TG-6700 pada unit Badak sampai beban lump SAT5 pada unit Nilam. Pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran terpanjang dengan beban terjauh dari unit Badak sampai unit Nilam dan terdapat saluran transmisi yang menghubungkan kedua unit tersebut. Rele-rele yang ada pada tipikal Badak-Nilam ini antara lain adalah LVCB S6-1, Rele MIF-SAT-5, Rele MIF-SAT-4 Rele OCR 1001/2, Rele REF615_Nlm, Rele REF615_Bdk, Rele R4, Rele R-6700, dan Rele 3. *Single Line Diagram* koordinasi tipikal Badak-Nilam dapat dilihat pada Gambar 4.9. Dari *single line diagram* tersebut dapat dibuat plot pada kurva TCC dari masing-masing rele arus lebih. Untuk plot kurva TCC rele tipikal Badak-Nilam kondisi *existing* dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.9 *Single Line Diagram* Tipikal Badak-Nilam



Gambar 4.10 Kurva TCC *Existing* Tipikal Badak-Nilam

Dari kurva TCC *existing* tipikal Badak-Nilam di atas dapat dilihat bahwa rele arus lebih tipikal Badak-Nilam belum terkoordinasikan dengan benar. Seperti yang ditunjukkan oleh nomor satu, rele LVCB S6-1 masih berada dibawah FLA beban LUMP-SAT6 dan waktu operasi dari rele ini terlalu cepat, yaitu 0,02 detik. Selanjutnya pada nomor dua, rele Relay3 merupakan rele untuk mengamankan generator yang seharusnya terletak paling atas dari rele dibawahnya. Kemudian pada nomor tiga, kurva rele OCR 1001/2 dan rele REF615_Nlm saling

bertabrakan. Pada nomor 4, waktu operasi dari rele MIF-SAT-5 ialah 0 detik, dimana seharusnya waktu operasi rele ialah minimal 0,1 detik. Selanjutnya pada nomor lima, kurva rele R4 menabrak *damage curve* trafo T4, dan waktu operasi dari rele R4 ialah 0 detik. Kemudian pada nomor enam, *grading time* dari rele terlalu cepat, dimana seharusnya *grading time* ialah 0,2-0,4 detik.

Setelah dilakukan analisa terhadap kurva TCC *existing* tipikal Badak-Nilam di atas, dapat diketahui bahwa perlu dilakukan *resetting* terhadap koordinasi rele arus lebih tipikal Badak-Nilam. Berikut ini perhitungan untuk *resetting* dari masing-masing rele arus lebih tipikal Badak-Nilam.

1. LVCB – S6-1

Manufaktur : General Electric
 Model : EC-1-AK-15-25-30 (LSI 15×)
 FLA Lump-SAT6 : 91,16 A
 Sensor ID : 100Ampere
 Rating plug : 1 *multiple*

Long Time

LT Pickup :

$$1,05 \times \text{FLA Lump-SAT6} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Lump-SAT6}$$

$$1,05 \times 91,16 < \text{Iset} < 1,4 \times 91,16$$

$$95,718 < \text{Iset} < 127,624$$

$$\frac{95,718}{100} < \text{Tap} < \frac{127,624}{100}$$

$$0,954 < \text{Tap} < 1,272$$

(Range : 0,8 sampai 1,6, dengan step 0,05)

Dipilih Tap = 1,2

Iset = 120 A

Dipilih LT Band = 1C-Min

Short Time

ST Pickup :

$$1,6 \times \text{FLA Lump-SAT6} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus MCC SAT\#6}$$

$$1,6 \times 91,16 < \text{Iset} < 0,8 \times 9210$$

$$145,856 < \text{Iset} < 7368$$

$$\frac{145,856}{100} < \text{Tap} < \frac{7368}{100}$$

$1,45856 < \text{Tap} < 73,68$
 (Range : 2 sampai 10, dengan step 0,5)
 Dipilih Tap = 4
 Iset = 400 A
 Dipilih ST Band = 2A-Max

2. Relay MIF SAT 5

Manufakturr : GE – Multilin
 Model : SR – 750 / 760
 FLA Primer T-601 : 11,02
 Isc Max SWYRD SAT6 : 791 A
 Isc Min SWYRD SAT6 : 544 A
 Rasio CT : 15 / 5
 Tipe kurva : IEC – A

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA Primer T-601} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Primer T-601}$
 $1,05 \times 11,02 < \text{Iset} < 1,4 \times 11,02$
 $11,571 < \text{Iset} < 15,428$
 $\frac{11,571}{15} < \text{Tap} < \frac{15,428}{15}$
 $0,7714 < \text{Tap} < 1,02853$
 (Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)
 Dipilih Tap = 0,8 In
 Iset = 12 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0.1 s

$$T = M \times \left(\frac{K}{\left(\frac{I}{I_{pu}} \right)^E - 1} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (second)
 M = Time Dial (Td)
 I = Isc Max 4 Cycle
 I Pick Up = Iset
 K,E = Konstanta

$$0,1 \text{ s} = M \times \left(\frac{0,140}{\left(\frac{791}{12} \right)^{0,020} - 1} \right)$$

$$0,1 \text{ s} = M \times (1,602263)$$

$$M = \frac{0,1}{1,602263}$$

$$M = 0,0624117$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Time Dial = 0,14

Instantaneous Pick Up

$$\text{Isc Max 4 Cycle Bus 22} \times \frac{\text{kV Sekunder}}{\text{kV Primer}} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min SWYRD SAT6}$$

$$11100 \times \frac{0,38}{33} < \text{Iset} < 0,8 \times 544$$

$$127,818 < \text{Iset} < 435,2$$

$$\frac{127,818}{15} < \text{Tap} < \frac{435,2}{15}$$

$$4,816987 < \text{Tap} < 29,013$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 8,7 In

Iset = 130,5 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

Dipilih Time Delay = 0,1 s

3. Relay MIF SAT 4

Manufakturr	: GE – Multilin
Model	: SR – 750 / 760
FLA Total	: 22,04 (FLA Primer T-601 + T-501)
Isc Max SWYRD SAT5	: 837 A
Isc Min SWYRD SAT5	: 567 A
Tipe kurva	: IAC – Inverse
Rasio CT	: 30 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Total}$$

$$1,05 \times 22,04 < I_{set} < 1,4 \times 22,04$$

$$23,142 < I_{set} < 30,856$$

$$\frac{23,142}{30} < Tap < \frac{30,856}{30}$$

$$0,7714 < Tap < 1,02853$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 0,8 In

Iset = 24 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0,3 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C \right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C \right)^3} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (*second*)

M = *Time Dial* (Td)

I = Isc Max 4 Cycle

I *Pick Up* = Iset

A,B,C,D,E = Konstanta

$$0,3 \text{ s} = M \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{837}{24} \right) - 0,8} + \frac{-0,4180}{\left(\left(\frac{837}{24} \right) - 0,8 \right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\left(\frac{837}{24} \right) - 0,8 \right)^3} \right)$$

$$0,3 \text{ s} = M \times (0.2327714)$$

$$M = \frac{0,3}{0.2327714}$$

$$M = 1,288818$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Dial* = 1,6

Instantaneous Pick Up

$$1,6 \times FLA \text{ Total} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min SWYRD SAT 5}$$

$$1,6 \times 22.04 < I_{set} < 0,8 \times 567$$

$$35,264 < I_{set} < 453,6$$

$$\frac{35,264}{30} < \text{Tap} < \frac{453,6}{30}$$

$$1,175 < \text{Tap} < 15,12$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 4,7 In

Iset = 141 A

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

Dipilih Time Delay = 0,3 s

4. Relay OCR 1001 / 2

Manufakturr : GE – Multilin

Model : SR – 750 / 760

FLA Total : 33,06

Isc Max Bus 8 : 880 A

Isc Min Bus 8 : 588 A

Rasio CT : 40 / 5

Tipe kurva : IAC – Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Total}$$

$$1,05 \times 33,06 < \text{Iset} < 1,4 \times 33,06$$

$$34,713 < \text{Iset} < 46,284$$

$$34,713 < \text{Tap} < \frac{46,284}{40}$$

$$\frac{34,713}{40} < \text{Tap} < \frac{46,284}{40}$$

$$0,8678 < \text{Tap} < 1,1571$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 0,88 In

Iset = 35,2 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0,5 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (*second*)
M = *Time Dial* (Td)
I = Isc Max 4 Cycle
I *Pick Up* = Iset
A,B,C,D,E = Konstanta

$$0,5 \text{ s} = M \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{880}{36}\right) - 0,8} + \frac{-0,4180}{\left(\left(\frac{880}{36}\right) - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\left(\frac{880}{36}\right) - 0,8\right)^3} \right)$$

$$0,5 \text{ s} = M \times (0,2427611)$$

$$M = \frac{0,5}{0,24276111}$$

$$M = 2,059638$$

(*Range* : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Dial* = 2,06

Instantaneous Pick Up

$$1,6 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min bus 8}$$

$$1,6 \times 33,06 < \text{Iset} < 0,8 \times 588$$

$$52,896 < \text{Iset} < 470,4$$

$$\frac{52,896}{40} < \text{Tap} < \frac{470,4}{40}$$

$$1,3224 < \text{Tap} < 11,76$$

(*Range* : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 3,8In

Iset = 152 A

Time Delay

(*Range* : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Delay* = 0,5 s

5. Relay REF 615 Nlm

Manufakturr : ABB
Model : REF 545
FLA Total : 105,318
Isc max Bus To Badak : 488 A
Isc min Bus To Badak : 351 A

Rasio CT : 100 / 5
Tipe kurva : Normal Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Total}$$

$$1,05 \times 105,318 < \text{Iset} < 1,4 \times 105,318$$

$$110,5839 < \text{Iset} < 147,4452$$

$$\frac{110,5839}{100} < \text{Tap} < \frac{147,4452}{100}$$

$$1,105839 < \text{Tap} < 1,474452$$

(Range : 0,05 sampai 40, dengan step 0,1)

Dipilih Tap = 0,56 In

Iset = 56 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0,7 s

$$T = M \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_{pu}} \right)^{0,02} - 1} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (second)

M = Time Dial (Td)

I = Isc Max 4 Cycle

I Pick Up = Iset

$$0,7 \text{ s} = M \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{488}{56} \right)^{0,02} - 1} \right)$$

$$0,7 \text{ s} = M \times (3,163816)$$

$$M = \frac{0,7}{3,163816}$$

$$M = 0,221252$$

(Range : 0,05 sampai 1, dengan step 0,01)

Dipilih Time Dial = 0,23 s

Instantaneous Pick Up

$$1,6 \times \text{FLA Total} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min SWGR-1001}$$

$$1,6 \times 105,318 < I_{set} < 0,8 \times 351$$

$$168,5088 < I_{set} < 280,8$$

$$\frac{168,5088}{100} < \text{Tap} < \frac{280,8}{100}$$

$$1,685088 < \text{Tap} < 2,808$$

(Range : 0,05 sampai 40 × CT Sec, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 1,8 In

Iset = 180 A

Time Delay

(Range : 0,05 sampai 300, dengan step 0,1)

Dipilih Time Delay = 0,7 s

6. Relay REF 615 Bdk

Manufakturr : ABB

Model : REF 545

FLA sekunder T4 : 52,49

Isc max kontribusi sekunder T4 : 536 A

Isc min kontribusi sekunder T4 : 377 A

Rasio CT : 100 / 5

Tipe kurva : Normal Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA sekunder T4} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA sekunder T4}$$

$$1,05 \times 52,49 < I_{set} < 1,4 \times 52,49$$

$$55,114 < I_{set} < 73,486$$

$$\frac{55,114}{100} < \text{Tap} < \frac{73,486}{100}$$

$$0,55114 < \text{Tap} < 0,73486$$

(Range : 0,05 sampai 40 Sec, dengan step 0.1)

Dipilih Tap = 0,56 In

Iset = 56 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0,7 s

$$T = M \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_{pu}} \right)^{0,02} - 1} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (*second*)
M = *Time Dial* (Td)
I = Isc Max 4 Cycle
I *Pick Up* = Iset

$$0,7 \text{ s} = M \times \left(\frac{0,14}{\left(\frac{538}{56} \right)^{0,02} - 1} \right)$$

$$0,7 \text{ s} = M \times (3,0295416)$$

$$M = \frac{0,7}{3,0295416}$$

$$M = 0,2310580$$

(*Range* : 0,05 sampai 1, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Dial* = 0,23 s

Instantaneous Pick Up

$1,6 \times \text{FLA Sekunder T4} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min kontribusi sekunder T4}$

$$1,6 \times 52,49 < \text{Iset} < 0,8 \times 377$$

$$83,984 < \text{Iset} < 301,6$$

$$\frac{83,984}{100} < \text{Tap} < \frac{301,6}{100}$$

$$0,83984 < \text{Tap} < 3,016$$

(*Range* : 0,05 sampai 40, dengan step 0.1)

Dipilih Tap = 1,8 In

Iset = 180 A

Time Delay

(*Range* : 0,05 sampai 300, dengan step 0.1)

Dipilih *Time Delay* = 0,7 s

7. Relay R4

Manufakturr : GE – Multilin

Model : SR – 750 / 760

FLA primer T4 : 416,4

Isc max bus SWGR-20 : 11760 A

Isc min bus SWGR-20 : 6300 A

Rasio CT : 400 / 5

Tipe kurva

: IAC – Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA primer T4} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA primer T4}$$

$$1,05 \times 416,4 < \text{Iset} < 1,4 \times 416,4$$

$$437,22 < \text{Iset} < 582,96$$

$$\frac{437,22}{400} < \text{Tap} < \frac{582,96}{400}$$

$$1,093 < \text{Tap} < 1,457$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 1,2 In

Iset = 480 A

Time Dial

Waktu Operasi = 0,7 s

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C \right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}} \right) - C \right)^3} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (second)

M = Time Dial (Td)

I = Isc Max 4 Cycle

I Pick Up = Iset

A,B,C,D,E = Konstanta

$$0,7s = M \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{11760}{480} \right) - 0,8} + \frac{-0,4180}{\left(\left(\frac{11760}{480} \right) - 0,8 \right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\left(\frac{11760}{480} \right) - 0,8 \right)^3} \right)$$

$$0,9 \text{ s} = M \times (0,2434839)$$

$$M = \frac{0,7}{0,2434839}$$

$$M = 2,8749329$$

(Range : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Dipilih Time Dial = 3,5

Instantaneous Pick Up

$$1,6 \times \text{FLA primer T4} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc min kontribusi primer T4}$$

$$1,6 \times 416,4 < \text{Iset} < 0,8 \times 6300$$

$$666,24 < \text{Iset} < 5040$$

$$\frac{666,24}{400} < \text{Tap} < \frac{5040}{400}$$

$$1,6656 < \text{Tap} < 12,6$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

$$\text{Dipilih Tap} = 3,9 \text{In}$$

$$\text{Iset} = 1600 \text{ A}$$

Time Delay

(Range : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

$$\text{Dipilih Time Delay} = 0,7 \text{ s}$$

8. Relay R-6700

Manufakturr	: GE – Multilin
Model	: SR – 750 / 760
FLA Generator TG-6700	: 433,7
Isc max kontribusi Generator TG-6700	: 3600 A
Isc min kontribusi Generator TG-6700	: 2170 A
Rasio CT	: 600 / 5
Tipe kurva	: IAC – Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Gen.TG-6700} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Gen.TG-6700}$$

$$1,05 \times 433,7 < \text{Iset} < 1,4 \times 433,7$$

$$455,39 < \text{Iset} < 607,18$$

$$\frac{455,39}{600} < \text{Tap} < \frac{607,18}{600}$$

$$0,758975 < \text{Tap} < 1,011967$$

(Range : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

$$\text{Dipilih Tap} = 0,8 \text{ In}$$

$$\text{Iset} = 480 \text{ A}$$

Time Dial

$$\text{Waktu Operasi} = 0,9 \text{ s}$$

$$T = M \times \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pu}}\right) - C\right)^3} \right)$$

Dimana : T = Waktu operasi (*second*)
M = *Time Dial* (Td)
I = Isc Max 4 Cycle
I *Pick Up* = Iset
A,B,C,D,E = Konstanta

$$0,9s = M \times \left(0,2078 + \frac{0,8630}{\left(\frac{3600}{480}\right) - 0,8} + \frac{-0,418}{\left(\left(\frac{3600}{480}\right) - 0,8\right)^2} + \frac{0,1947}{\left(\left(\frac{3600}{480}\right) - 0,8\right)^3} \right)$$

$$0,9 s = M \times (0,3358088)$$

$$M = \frac{0,9}{0,3358088}$$

$$M = 2,7443905$$

(*Range* : 0 sampai 100, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Dial* = 3,8

Instantaneous Pick Up

1,6×FLA Gen.TG-6700 < Iset < 0,8×Isc min kontribusi Gen. TG-6700

$$1,6 \times 433,7 < Iset < 0,8 \times 2170$$

$$693,92 < Iset < 1736$$

$$\frac{693,92}{600} < Tap < \frac{1736}{600}$$

$$1,156533 < Tap < 2,8933$$

(*Range* : 0,05 sampai 20, dengan step 0,01)

Dipilih Tap = 2,85 In

Iset = 1710 A

Time Delay

(*Range* : 0 sampai 600 s, dengan step 0,01)

Dipilih *Time Delay* = 0,9 s

9. **Relay 3**

Manufakturr	: ABB
Model	: CO (Circuit Opening)
FLA Generator TG-6700	: 433,7
Isc max kontribusi Generator TG-6700	: 3600 A
Isc min kontribusi Generator TG-6700	: 2170 A
Rasio CT	: 600 / 5
Tipe kurva	: CO7 – Moderatly Inverse

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Gen.TG-6700} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Gen.TG-6700}$$

$$1,05 \times 433,7 < \text{Iset} < 1,4 \times 433,7$$

$$455,39 < \text{Iset} < 607,18$$

$$\frac{455,39}{600/5} < \text{Tap} < \frac{607,18}{600/5}$$

$$3,79488 < \text{Tap} < 5,05983$$

(Range : 2,5 sampai 10 Sec - 5A)

Dipilih Tap = 4 In

Iset = 480 A

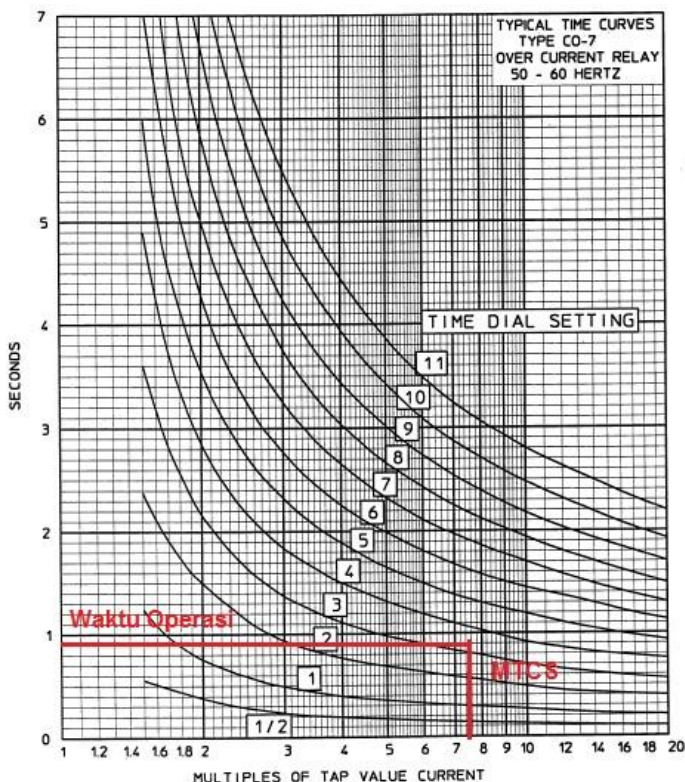
Time Dial

Waktu Operasi = 0,9 s

Multiple Tap Current Setting (MTCS)

$$\begin{aligned} \text{MTCS} &= \frac{\text{Isc Max 4 cycle kontribusi Generator TG-6700}}{\text{Ipickup}} \\ &= \frac{3600}{480} \\ &= 7,5 \end{aligned}$$

Untuk menentukan *time dial* berdasarkan nilai *Multiple Tap Current Setting (MTCS)* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.4 Kurva MTCS (*Multiple of Tap Current Setting*) CO7 – Moderatly Inverse

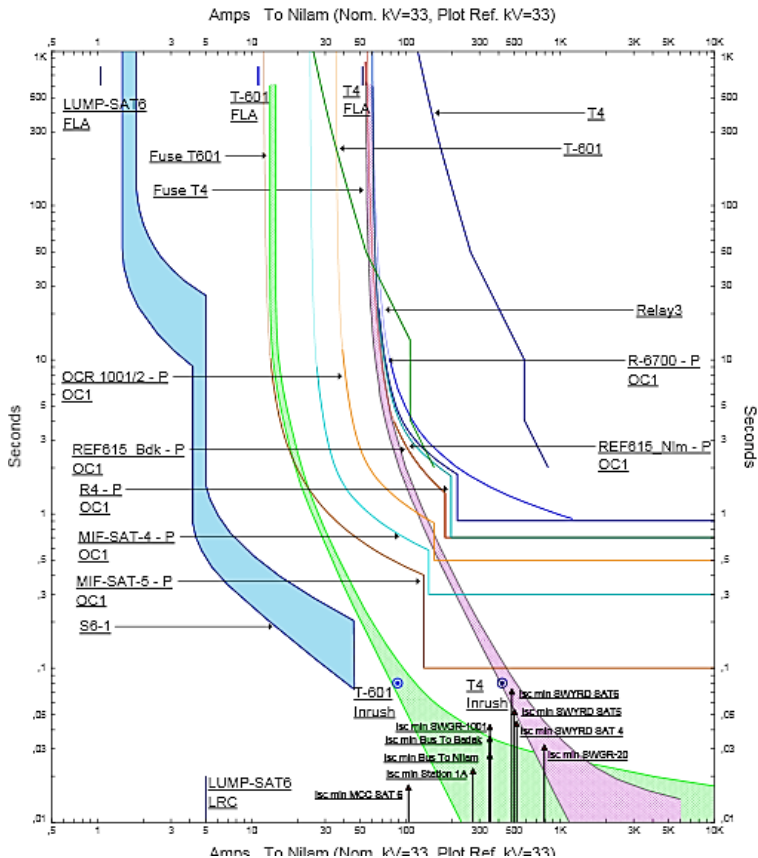
(Range : 0 sampai 100, dengan step 0.01)

Dipilih *Time Dial* = 5

Instantaneous Pick Up : *Disable* / tidak aktif

Time Delay : *Disable* / tidak aktif

Setelah dilakukan *resetting* pada rele arus lebih tipikal Badak-
Nilam sesuai dengan perhitungan di atas, maka dapat dilihat plot kurva
TCC hasil *resetting* pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Kurva TCC *Resetting* Tipikal Badak-Nilam

Dari kurva TCC *resetting* di atas dapat diketahui bahwa setelah dilakukan *resetting*, koordinasi rele pengaman arus lebih tipikal Badak-Nilam sudah cukup baik. Seperti yang dapat dilihat pada kurva TCC di atas bahwa sudah tidak terdapat kurva yang saling bertabrakan, baik dengan kurva rele lainnya atau dengan *damage curve* trafo. Pada kurva rele LVCB S6-1 sudah berada di atas FLA LUMP-SAT6 dan waktu operasi dari rele diatur menjadi 0,2 detik. Kemudian rele Relay3 sebagai pengaman generator sudah berada paling atas dari kurva rele lainnya, sehingga rele Relay3 bekerja paling akhir saat mengamankan gangguan.

Untuk waktu operasi rele MIF-SAT-6 yang seharusnya 0,4 detik, *setting* waktunya dikembalikan menjadi 0,1 detik sesuai dengan waktu kerja rele, karena arus hubung singkat maksimum pada tegangan rendah trafo T-601 lebih kecil dari arus hubung singkat minimum pada tegangan tinggi trafo. Tetapi untuk rele R4 yang berada pada primer trafo T4 tidak mengalami reset, sehingga waktu kerjanya tetap, yaitu 0,7 detik. Untuk *grading time* waktu operasi semua rele pada tipikal Badak-Nilam ini sudah diatur menjadi 0,2 detik. Pada tipikal Badak-Nilam ini terdapat fuse sebagai pengaman trafo T-601 dan T4. Fuse ini harus tetap disamakan dengan *setting existing*.

Dari kurva TCC di atas juga dapat dilihat bahwa masing-masing rele arus lebih fasa tipikal Badak-Nilam dapat langsung mengamankan bus saat terjadi gangguan hubung singkat minimum di masing-masing bus tersebut. Dalam hal ini rele yang bekerja ialah rele 50 (*instantaneous*). Jika gangguan hubung singkat terjadi pada bus yang paling bawah atau paling dekat dengan beban (bus MCC SAT6), maka rele LVCB S6-1 akan bekerja secara *instantaneous*. Sedangkan untuk rele di atasnya, rele 51 (*invers*) yang akan bekerja. Hal ini dikarenakan antara bus MCC SAT6 dengan bus SWYRD SAT5 di atasnya dipisahkan oleh transformator T-601.

4.3 Nilai Energi Busur Api (*Arc Flash*) Kondisi *Resetting*

Setelah dilakukan *reseeting* pada koordinasi rele arus lebih fasa pada PT. VICO Indonesia, maka dapat diketahui nilai dari energi busur api yang mungkin timbul. Untuk mengetahui nilai dari energi busur api dapat dilakukan dengan simulasi pada *software* ETAP dan perhitungan berdasarkan standar IEEE 1584-2002.

4.3.1 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Resetting*

Untuk dapat mengetahui nilai energi busur api (*arc flash*) di PT. VICO Indonesia setelah *resetting* dapat dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* ETAP. Simulasi ini untuk mengetahui energi busur api pada semua bus yang ada pada unit Badak dan unit Nilam PT. VICO Indonesia setelah dilakukan *resetting*. Pada setiap bus dapat diketahui nilai arus *bolted fault* (Ibf), arus *arcing* (Ia), *fault clearing time* (FCT), insiden energi, dan kategori level energi. Data-data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.3 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Resetting* Unit Badak

BUS ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arcing (kA)	Arc Time FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm²)	Kategori Level
STATION 1-A	17,47	16,8	1,2	23,76	Level 3
STATION 1-B	17,47	16,8	1	19,8	Level 3
SWGR-8	12,25	11,85	0,4	5,43	Level 2
MCC8	26,135	4,866	0,35	6,959	Level 2
SWGR-20	15,41	14,84	0,8	13,86	Level 3
DP-16	7,139	2,613	0,35	3,553	Level 1
MCC-1	6,624	2,521	0,35	3,418	Level 1
MCC-1A	6,073	2,418	0,35	3,268	Level 1
MCC-2	21,232	4,405	0,5	8,928	Level 3
MCC-3	6,307	2,462	0,23	1,366	Level 1
MCC-4A	19,843	4,264	0,416	7,17	Level 3
MCC-4B	19,843	4,264	0,23	3,965	Level 1
MCC-5	10,271	3,110	0,23	2,819	Level 1
MCC-6	24,803	4,745	0,23	4,451	Level 2
MCC-6A	21,322	4,414	0,5	8,947	Level 3
MCC-6B	17,106	3,971	0,23	3,672	Level 1
MCC-14A	36,062	5,677	0,23	5,403	Level 2
MCC-14B	34,401	5,550	0,23	5,273	Level 2
MCC22	42,120	6,116	0,14	3,56	Level 1
SWGR-5	4,813	4,729	0,2	1,006	Level 0
SWGR-11A	25,217	4,783	0,5	6,086	Level 2
SWGR-11B	21,682	4,449	0,5	5,628	Level 2
SWGR-14	15,275	14,719	0,2	3,433	Level 1

Tabel 4.3 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Resetting* Unit Badak (Lanjutan)

BUS ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arcing (kA)	Arc Time FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori Level
SWGR-15	15,216	14,663	0,2	3,419	Level 1
SWGR-16A	37,787	5,806	0,5	7,505	Level 2
SWGR-16B	37,216	5,764	0,5	7,446	Level 2
SWGR-19	16,065	15,467	0,2	3,622	Level 1
SWGR-41	7,495	7,310	0,2	1,611	Level 1

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Resetting* Unit Nilam

BUS ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arcing (kA)	Arc Time FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori Level
SWG/MCC-1000	8,88	8,63	1	9,64	Level 3
SWGR-1003B	43,414	6,205	0,5	8,06	Level 3
MCC-1003	41,679	6,085	0,23	5,824	Level 2
SWGR-1001	0,952	0,952	0,58	11,29	Level 3
SWYRD SAT4	0,887	0,887	0,6	10,75	Level 3
SWYRD SAT5	0,842	0,842	0,4	6,81	Level 2
MCC SAT#6	11,434	3,274	0,23	1,864	Level 1
DP-701	5,188	1,906	0,35	2,527	Level 1
DP-1002	19,742	4,254	0,35	6,018	Level 2
MCC SAT2	19,290	4,207	0,35	5,947	Level 2
MCC-400	18,382	4,111	0,35	5,8	Level 2
MCC-1001	37,475	5,783	0,23	5,51	Level 2

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Energi Busur Api Kondisi *Resetting* Unit Nilam (Lanjutan)

BUS ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arcing (kA)	Arc Time FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori Level
MCC-1004	34,693	5,573	0,23	5,296	Level 2
SAT1-SWRK	2,944	1,709	0,35	1,400	Level 1
SWGR-1003A	32,406	5,394	0,35	4,85	Level 2
SWGR-1005	8,698	8,462	0,5	5,10	Level 2
SWYRD SAT1	0,879	0,879	0,2	3,554	Level 1
SWYRD SAT2	0,932	0,932	0,4	7,533	Level 2

4.3.2 Perhitungan Energi Busur Api Kondisi *Resetting* dengan Standar IEEE 1584-2002

Selain dari hasil simulasi, nilai energi busur api juga dapat diperoleh dari perhitungan dengan standar IEEE 1584-2002. Nilai yang dicari ialah arus *arcing fault* (Ia) dan energi insiden busur api (E). Data yang diperlukan untuk perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.5. Untuk jarak/gap antar bus, jarak kerja/*working distance*, dan *X factor* digunakan standar IEEE 1584-2002 yang disesuaikan dengan tegangan kerja pada tiap bus.

Tabel 4.5 Data Untuk Perhitungan Energi Busur Api pada Unit Badak

Bus ID	Tegangan (kV)	Gap Bus (mm)	Working Distance (mm)	X Factor	Arc Time FCT (detik)	Ibf (kA)
MCC8	0,38	130	455	1,641	0,35	26,13
DP-16	0,38	130	455	1,641	0,35	7,139
MCC-1	0,38	130	455	1,641	0,35	6,624
MCC-1A	0,38	130	455	1,641	0,35	6,073
MCC-2	0,38	130	455	1,641	0,50	21,232

Tabel 4.5 Data Untuk Perhitungan Energi Busur Api pada Unit Badak (Lanjutan)

Bus ID	Tegangan (kV)	Gap Bus (mm)	Working Distance (mm)	X Factor	Arc Time FCT (detik)	Ibf (kA)
MCC-3	0,38	130	610	1,473	0,23	6,307
MCC-4A	0,38	130	455	1,641	0,416	19,843
MCC-4B	0,38	130	455	1,641	0,23	19,843
MCC-5	0,38	130	455	1,641	0,23	10,271
MCC-6	0,38	130	455	1,641	0,23	24,803
MCC-6A	0,38	130	455	1,641	0,50	21,322
MCC-6B	0,38	130	455	1,641	0,23	17,106
MCC-14A	0,38	130	455	1,641	0,23	36,062
MCC-14B	0,38	130	455	1,641	0,23	34,401
MCC22	0,38	130	455	1,641	0,14	42,120
SWGR-11A	0,38	130	610	1,473	0,50	25,217
SWGR-11B	0,38	130	610	1,473	0,50	21,682
SWGR-16A	0,38	130	610	1,473	0,50	37,787
SWGR-16B	0,38	130	610	1,473	0,50	37,216
STATION 1-A	4,16	102	910	0,973	1,2	17,47
STATION 1-B	4,16	102	910	0,973	0,6	17,47
SWGR-8	4,16	102	910	0,973	0,4	12,25
BUS SWGR-20	4,16	102	910	0,973	0,8	15,41
SWGR-5	4,16	102	910	0,973	0,20	4,813
SWGR-14	4,16	102	910	0,973	0,20	15,275
SWGR-15	4,16	102	910	0,973	0,20	15,216

Tabel 4.5 Data Untuk Perhitungan Energi Busur Api pada Unit Badak (Lanjutan)

Bus ID	Tegangan (kV)	Gap Bus (Mm)	Working Distance (mm)	X Factor	Arc Time FCT (detik)	Ibf (kA)
SWGR-19	4,16	102	910	0,973	0,20	16,065
SWGR-41	4,16	102	910	0,973	0,20	7,495

Tabel 4.6 Data Untuk Perhitungan Energi Busur Api pada Unit Nilam

Bus ID	Tegangan (kV)	Gap Bus (mm)	Working Distance (mm)	X Factor	Arc Time FCT (detik)	Ibf (kA)
MCC-1003	0,38	130	455	1,641	0,23	41,68
DP-701	0,38	130	455	1,641	0,181	5,188
DP-1002	0,38	130	455	1,641	0,35	19,742
MCC SAT2	0,38	130	455	1,641	0,35	19,290
MCC-400	0,38	130	455	1,641	0,724	18,382
MCC-1001	0,38	130	455	1,641	0,23	37,475
MCC-1004	0,38	130	455	1,641	0,23	34,693
SWGR-1003B	0,38	130	610	1,473	0,5	43,41
MCC SAT #6	0,38	130	610	1,473	0,203	11,43
SAT1-SWRK	0,38	130	610	1,473	0,35	2,944
SWGR-1003A	0,38	130	610	1,473	0,23	32,406
SWGR-1005	4,16	102	910	0,973	0,652	8,698
STATION 1-A	4,16	102	910	0,973	1,4	17,47
SWG/MCC-1000	4,16	102	910	0,973	1	8,88

Tabel 4.6 Data Untuk Perhitungan Energi Busur Api pada Unit Nilam (Lanjutan)

Bus ID	Tegangan (kV)	Gap Bus (mm)	Working Distance (mm)	X Factor	Arc Time FCT (detik)	I _{bf} (kA)
SWGR-1001	33	-	910	-	0,587	0,952
SWYRD SAT4	33	-	910	-	0,6	0,887
SWYRD SAT5	33	-	910	-	0,4	0,842
SWYRD SAT1	33	-	910	-	0,20	0,879
SWYRD SAT2	33	-	910	-	0,40	0,932

Perhitungan energi busur api untuk beberapa bus pada unit Badak dan Nilam adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan energi busur api pada unit Badak
 - a. Perhitungan energi busur api pada tegangan bus kurang dari 1 kV (0,38 kV)

MCC8

➤ Perhitungan *Arcing Current* (I_a) :

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 26,13) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(\lg 26,13) - 0,00304(130) (\lg 26,13)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(1,417) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(1,417) - 0,00304(130) (1,417)$$

$$\lg I_a = 0,69$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 4,87 \text{ kA}$$

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 4,87) + 0,0011 \times 130$$

$$\lg E_n = 0,21776$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 1,65 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 1,65 \times \left(\frac{0,35}{0.2} \right) \times \left(\frac{610^{1,641}}{455^{1,641}} \right)$$

$$E = 29,34 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 29,34 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 7,01 \text{ cal/cm}^2$$

MCC-1

➤ Perhitungan *Arcing Current* (I_a) :

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 6,624) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(\lg 6,624) - 0,00304(130) (\lg 6,624)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(0,8211) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(0,8211) - 0,00304(130) (0,8211)$$

$$\lg I_a = 0,401$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 2,52 \text{ kA}$$

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 2,52) + 0,0011 \times 130$$

$$\lg E_n = -0,09$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 0,81 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 0,81 \times \left(\frac{0,35}{0.2} \right) \times \left(\frac{610^{1,641}}{455^{1,641}} \right)$$

$$E = 14,41 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 14,41 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 3,44 \text{ cal/cm}^2$$

MCC-3

➤ Perhitungan *Arcing Current* (I_a) :

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 6,307) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(\lg 6,307) - 0,00304(130) (\lg 6,307)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(0,8) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(0,8) - 0,00304(130)(0,8)$$

$$\lg I_a = 0,39$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 2,46 \text{ kA}$$

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 2,46) + 0,0011 \times 130$$

$$\lg E_n = -0,102$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 0,79 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 0,79 \times \left(\frac{0,23}{0.2} \right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{610^{1,473}} \right)$$

$$E = 5,71 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 5,71 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 1,36 \text{ cal/cm}^2$$

MCC-5

➤ Perhitungan *Arcing Current* (Ia) :

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 10,271) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(\lg 10,271) - 0,00304(130)(\lg 10,271)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(1,01) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(1,01) - 0,00304(130)(1,01)$$

$$\lg I_a = 0,49$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 3,11 \text{ kA}$$

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 3,11) + 0,0011 \times 130$$

$$\lg E_n = 0,0077$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 1,02 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 1,02 \times \left(\frac{0,23}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^{1,641}}{455^{1,641}}\right)$$

$$E = 11,89 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 11,89 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 2,84 \text{ cal/cm}^2$$

MCC22

➤ Perhitungan *Arcing Current* (I_a) :

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 42,12) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(\lg 42,12) - 0,00304(130) (\lg 42,12)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(1,62) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(1,62) - 0,00304(130) (1,62)$$

$$\lg I_a = 0,79$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 6,12 \text{ kA}$$

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 6,12) + 0,0011 \times 130$$

$$\lg E_n = 0,32$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 2,11 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 2,11 \times \left(\frac{0,14}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^{1,641}}{455^{1,641}}\right)$$

$$E = 15,03 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 15,03 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 3,59 \text{ cal/cm}^2$$

SWGR-11A

➤ Perhitungan *Arcing Current* (I_a) :

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 25,217) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(\lg 25,217) - 0,00304(130) (\lg 25,217)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(1,402) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(1,402) - 0,00304(130) (1,402)$$

$$\lg I_a = 0,68$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 4,78 \text{ kA}$$

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 4,78) + 0,0011 \times 130$$

$$\lg E_n = 0,21$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 1,62 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 1,62 \times \left(\frac{0,5}{0.2} \right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{610^{1,473}} \right)$$

$$E = 25,43 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 25,43 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 6,07 \text{ cal/cm}^2$$

b. Perhitungan energi busur api pada tegangan bus 1-15 kV
(4,16 kV)

STATION 1-A

➤ Perhitungan *Arcing Current* (Ia) :

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf}$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg 17,47$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \times 1,242$$

$$\lg I_a = 1,225$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 16,795 \text{ kA}$$

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081 (\lg 16,795) + 0,0011 \times 102$$

$$\lg E_n = 0,769$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 5,87 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1 \times 5,87 \times \left(\frac{1}{0.2} \right) \times \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}} \right)$$

$$E = 83,21 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 83,21 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 19,87 \text{ cal/cm}^2$$

STATION 1-B

- Perhitungan *Arcing Current* (I_a) :

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf}$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg 17,47$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \times 1,242$$

$$\lg I_a = 1,225$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 16,795 \text{ kA}$$

- Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081 (\lg 16,795) + 0,0011 \times 102$$

$$\lg E_n = 0,769$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 5,87 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1 \times 5,87 \times \left(\frac{1}{0.2} \right) \times \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}} \right)$$

$$E = 83,21 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 83,21 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 19,87 \text{ cal/cm}^2$$

SWGR-8

- Perhitungan *Arcing Current* (I_a) :

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf}$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg 12,25$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \times 1,088$$

$$\lg I_a = 1,074$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 11,848 \text{ kA}$$

- Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081 (\lg 11,848) + 0,0011 \times 102$$

$$\lg E_n = 0,605$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 4,03 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1 \times 4,03 \times \left(\frac{0,4}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$E = 22,83 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 22,83 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 5,45 \text{ cal/cm}^2$$

2. Perhitungan energi busur api pada unit Nilam

- a. Perhitungan energi busur api pada tegangan bus kurang dari 1 kV (0,38 kV)

MCC-1003

➤ Perhitungan *Arcing Current* (I_a) :

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 41,68) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(\lg 41,68) - 0,00304(130) (\lg 41,68)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(1,62) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(1,62) - 0,00304(130) (1,62)$$

$$\lg I_a = 0,78$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 6,09 \text{ kA}$$

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 17,624) + 0,0011 \times 130$$

$$\lg E_n = 0,32$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 2,1 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 2,1 \times \left(\frac{0,23}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^{1,641}}{455^{1,641}}\right)$$

$$E = 24,55 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 24,55 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 5,86 \text{ cal/cm}^2$$

SWGR-1003B

➤ Perhitungan *Arcing Current* (I_a) :

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 43,41) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(\lg 43,41) - 0,00304(130) (\lg 43,41)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(1,638) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(1,638) - 0,00304(130)(1,638)$$

$$\lg I_a = 0,79$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 6,20 \text{ kA}$$

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081(\lg 6,20) + 0,0011 \times 130$$

$$\lg E_n = 0,33$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 2,15 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 2,15 \times \left(\frac{0,5}{0.2} \right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{610^{1,473}} \right)$$

$$E = 33,69 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 33,69 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 8,05 \text{ cal/cm}^2$$

MCC SAT 6

➤ Perhitungan *Arcing Current* (Ia) :

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(\lg 11,43) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(\lg 11,43) - 0,00304(130)(\lg 11,43)$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662(1,06) + 0,0966(0,38) + 0,000526(130) + 0,5588(0,38)(1,06) - 0,00304(130)(1,06)$$

$$\lg I_a = 0,51$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 3,27 \text{ kA}$$

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081 (\lg 3,27) + 0,0011 \times 130$$

$$\lg E_n = 0,032$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 1,08 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 1,08 \times \left(\frac{0,23}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{610^{1,473}}\right)$$

$$E = 7,76 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 7,76 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 1,85 \text{ cal/cm}^2$$

- b. Perhitungan energi busur api pada tegangan bus 1-15 kV (4,16 kV)

SWGR-1005

- Perhitungan *Arcing Current* (I_a) :

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf}$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg 8,7$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \times 0,94$$

$$\lg I_a = 0,93$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 8,46 \text{ kA}$$

- Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081 (\lg 8,46) + 0,0011 \times 102$$

$$\lg E_n = 0,745$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 2,8 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$E = 4,184 \times 1 \times 2,8 \times \left(\frac{0,54}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$E = 21,42 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 21,42 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 5,11 \text{ cal/cm}^2$$

SWG/MCC-1000

- Perhitungan *Arcing Current* (I_a) :

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf}$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg 8,88$$

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \times 0,948$$

$$\lg I_a = 0,936$$

$$I_a = 10^{\lg I_a}$$

$$I_a = 8,64 \text{ kA}$$

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G$$

$$\lg E_n = -0,555 - 0,113 + 1,081 (\lg 8,64) + 0,0011 \times 102$$

$$\lg E_n = 0,456$$

$$E_n = 10^{\lg E_n}$$

$$E_n = 2,86 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1 \times 2,86 \times \left(\frac{1}{0.2} \right) \times \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}} \right)$$

$$E = 40,54 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 40,54 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 9,68 \text{ cal/cm}^2$$

c. Perhitungan energi busur api pada tegangan bus di atas 15 kV (33 kV) dengan menggunakan *Lee Method*

SWGR-1001

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$E = 2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right)$$

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 33 \times 0,952 \left(\frac{0,587}{910^2} \right)$$

$$E = 47,7 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 47,7 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 11,39 \text{ cal/cm}^2$$

SWYRD SAT4

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$E = 2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right)$$

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 33 \times 0,887 \left(\frac{0,6}{910^2} \right)$$

$$E = 45,43 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 45,43 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 10,85 \text{ cal/cm}^2$$

SWYRD SAT4

➤ Perhitungan *Incident Energy* (E) :

$$E = 2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right)$$

$$E = 2,142 \times 10^6 \times 33 \times 0,842 \left(\frac{0,4}{910^2} \right)$$

$$E = 28,75 \text{ J/cm}^2$$

$$E = 28,75 \text{ J/cm}^2 \times 0,2388 = 6,86 \text{ cal/cm}^2$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan standar IEEE 1584-2002 pada seluruh bus, maka hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi *Resetting* Unit Badak

Bus ID	Arc Time FCT (s)	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arcing (kA)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori Level
MCC8	0,35	26,13	4,87	7,01	Level 2
DP-16	0,35	7,139	2,61	3,58	Level 1
MCC-1	0,35	6,624	2,52	3,44	Level 1
MCC-1A	0,35	6,073	2,42	3,29	Level 1
MCC-2	0,50	21,232	4,40	8,99	Level 3
MCC-3	0,23	6,307	2,46	1,36	Level 1
MCC-4A	0,416	19,843	4,26	7,22	Level 3
MCC-4B	0,23	19,843	4,26	3,99	Level 1
MCC-5	0,23	10,271	3,11	2,84	Level 1
MCC-6	0,23	24,803	4,75	4,48	Level 2
MCC-6A	0,50	21,322	4,41	9,01	Level 3
MCC-6B	0,23	17,106	3,97	3,70	Level 1
MCC-14A	0,23	36,062	5,68	5,44	Level 2
MCC-14B	0,23	34,401	5,55	5,31	Level 2
MCC22	0,14	42,120	6,12	3,59	Level 1
SWGR-11A	0,5	25,217	4,78	6,07	Level 2
SWGR-11B	0,5	21,682	4,45	5,62	Level 2
SWGR-16A	0,5	37,787	5,81	7,49	Level 2
SWGR-16B	0,5	37,216	5,76	7,43	Level 2

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi *Resetting* Unit Badak (Lanjutan)

Bus ID	Arc Time FCT (s)	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arcing (kA)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori Level
STATION 1-A	1,2	17,47	16,80	19,87	Level 3
STATION 1-B	1	17,47	16,80	19,87	Level 3
SWGR-8	0,4	12,25	11,85	5,45	Level 2
SWGR-20	0,8	15,41	14,85	13,91	Level 3
SWGR-5	0,2	4,813	4,73	1,01	Level 0
SWGR-14	0,2	15,275	14,72	3,45	Level 1
SWGR-15	0,2	15,216	14,66	3,43	Level 1
SWGR-19	0,2	16,065	15,47	3,64	Level 1
SWGR-41	0,2	7,495	7,31	1,62	Level 1

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi *Resetting* Unit Nilam

Bus ID	Arc Time FCT (s)	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arcing (kA)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori Level
MCC-1003	0,23	41,68	6,09	5,86	Level 2
DP-701	0,35	5,188	2,24	3,03	Level 1
DP-1002	0,35	19,742	4,25	6,06	Level 2
MCC SAT2	0,35	19,290	4,21	5,99	Level 2
MCC-400	0,35	18,382	4,11	5,84	Level 2
MCC-1001	0,23	37,475	5,78	5,55	Level 2

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Energi Busur Api Kondisi *Resetting* Unit Nilam (Lanjutan)

Bus ID	Arc Time FCT (s)	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arcing (kA)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori Level
MCC-1004	0,23	34,693	5,57	5,33	Level 2
SWGR-1003B	0,5	43,41	6,20	8,05	Level 3
MCC SAT #6	0,23	11,43	3,27	1,85	Level 1
SAT1-SWRK	0,35	2,944	1,71	1,40	Level 1
SWGR-1003A	0,35	32,406	5,39	4,84	Level 2
SWGR-1005	0,54	8,698	8,46	5,11	Level 2
SWG/ MCC-1000	1	8,88	8,64	9,68	Level 3
SWGR-1001	0,587	0,952	0,96	11,39	Level 3
SWYRD SAT4	0,6	0,887	0,90	10,85	Level 3
SWYRD SAT5	0,4	0,842	0,85	6,87	Level 2
SWYRD SAT1	0,2	0,879	0,89	3,58	Level 1
SWYRD SAT2	0,4	0,932	0,94	7,60	Level 2

4.4 Perhitungan *Flash Protection Boundary*

Dari hasil perhitungan besar insiden energi di atas, maka dapat dihitung *protection boundary* dari bus tersebut. *Protection boundary* ialah batasan daerah kerja atau jarak aman pekerja yang bekerja disekitar daerah bertegangan. Jarak aman pekerja ini merupakan batasan jarak dari titik busur api dimana pekerja masih aman meskipun tanpa memakai *personal protective equipment* (PPE). Perhitungan ini menggunakan insiden energi sebesar 5,0 J/cm² berdasarkan *flash protection boundary* pada IEEE 1584-2002. Berikut ini perhitungan *flash protection boundary* pada PT. VICO Indonesia.

1. Perhitungan *flash protection boundary* pada unit Badak dengan tegangan di bawah 15 kV

MCC-8

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 1,65 \times \left(\frac{0,35}{0,2} \right) \times \left(\frac{455^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 1337,47 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,3 \text{ m}$$

MCC-1

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 0,81 \times \left(\frac{0,35}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 867,27 \text{ mm}$$

$$D_B = 0,9 \text{ m}$$

MCC-3

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 0,79 \times \left(\frac{0,23}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 667,28 \text{ mm}$$

$$D_B = 0,7 \text{ m}$$

MCC-5

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 1,02 \times \left(\frac{0,23}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 771,21 \text{ mm}$$

$$D_B = 0,8 \text{ m}$$

MCC22

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 2,11 \times \left(\frac{0,14}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 889,68 \text{ mm}$$

$$D_B = 0,9 \text{ m}$$

SWGR-11A

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 1,62 \times \left(\frac{0,5}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 1840,37 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,8 \text{ m}$$

STATION 1-A

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1 \times 5,87 \times \left(\frac{1}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 16373 \text{ mm}$$

$$D_B = 16,37 \text{ m}$$

STATION 1-B

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1 \times 5,87 \times \left(\frac{1}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 16373 \text{ mm}$$

$$D_B = 16,37 \text{ m}$$

SWGR-8

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1 \times 4,03 \times \left(\frac{0,4}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 4333,064 \text{ mm}$$

$$D_B = 4,3 \text{ m}$$

2. Perhitungan *flash protection boundary* pada unit Nilam

a. Perhitungan *flash protection boundary* untuk tegangan di bawah 15 kV

MCC-1003

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 2,1 \times \left(\frac{0,23}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 1199,99 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,2 \text{ m}$$

SWGR-1003B

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 2,15 \times \left(\frac{0,5}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 2227,67 \text{ mm}$$

$$D_B = 2,2 \text{ m}$$

MCC SAT #6

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 1,08 \times \left(\frac{0,23}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{1,473}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 822,46 \text{ mm}$$

$$D_B = 0,8 \text{ m}$$

SWGR-1005

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1 \times 2,8 \times \left(\frac{0,54}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 4058,27$$

$$D_B = 4,1 \text{ m}$$

SWG/MCC-1000

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1 \times 2,86 \times \left(\frac{1}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 7819,6 \text{ mm}$$

$$D_B = 7,8 \text{ m}$$

b. Perhitungan *flash protection boundary* untuk tegangan di atas 15 kV

SWGR-1001

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{E_B} \right)}$$

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 33 \times 0,952 \left(\frac{0,587}{5} \right)}$$

$$D_B = 2810,73 \text{ mm}$$

$$D_B = 2,8 \text{ m}$$

SWYRD SAT4

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{E_B} \right)}$$

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 33 \times 0,887 \left(\frac{0,6}{5} \right)}$$

$$D_B = 2742,96 \text{ mm}$$

$$D_B = 2,7 \text{ m}$$

SWYRD SAT5

➤ Perhitungan *Flash Protection Boundary* :

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{E_B} \right)}$$

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 \times 33 \times 0,842 \left(\frac{0,4}{5} \right)}$$

$$D_B = 2182,06 \text{ mm}$$

$$D_B = 2,2 \text{ m}$$

4.5 Perbandingan Besar Nilai Energi Busur Api

Setelah dilakukan simulasi energi busur api pada kondisi *existing* dan *resetting*, serta perhitungan energi busur api pada PT. VICO Indonesia, maka dapat dilakukan perbandingan dari hasil simulasi dan hasil perhitungan tersebut. Perbandingan besar energi busur api dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.

Tabel 4.9 Perbandingan Besar Insiden Energi dan Kategori Level Busur Api Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada Unit Badak

BUS ID	<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>		
	Insiden Energi (cal/cm ²)	Level	Simulasi Insiden Energi (cal/cm ²)	Hitungan Insiden Energi (cal/cm ²)	Level
STATION 1-A	126,7	>Max.	19,8	19,87	Level 3
STATION 1-B	126,7	>Max.	19,8	19,87	Level 3
SWGR-8	8,19	Level 3	5,43	5,45	Level 2
MCC8	13,05	Level 3	6,96	7,01	Level 2
SWGR-20	13,61	Level 3	13,86	13,91	Level 3
SWGR-15	10,31	Level 3	3,42	3,43	Level 1
SWGR-16A	0,45	Level 0	7,50	7,49	Level 2
DP-16	0,30	Level 0	3,55	3,58	Level 1
MCC-1	0,29	Level 0	3,42	3,44	Level 1

Tabel 4.9 Perbandingan Besar Insiden Energi dan Kategori Level Busur Api Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada Unit Badak (Lanjutan)

BUS ID	<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>		
	Insiden Energi (cal/cm ²)	Level	Simulasi Insiden Energi (cal/cm ²)	Hitungan Insiden Energi (cal/cm ²)	Level
MCC-1A	19,14	Level 3	3,27	3,29	Level 1
MCC-2	60,61	>Max.	8,93	8,99	Level 3
MCC-3	0,29	Level 0	1,37	1,36	Level 1
MCC-4A	37,03	Level 4	7,17	7,22	Level 3
MCC-4B	37,03	Level 4	3,97	3,99	Level 1
MCC-5	754,30	>Max.	2,82	2,84	Level 1
MCC-6	0,58	Level 0	4,45	4,48	Level 2
MCC-6A	0,54	Level 0	8,95	9,01	Level 3
MCC-6B	0,48	Level 0	3,67	3,70	Level 1
MCC-14A	13,05	Level 3	5,40	5,44	Level 2
MCC-14B	0,70	Level 0	5,27	5,31	Level 2
MCC22	0,69	Level 0	3,56	3,59	Level 1
SWGR-5	0,583	Level 0	1,01	1,01	Level 0
SWGR-11A	0,37	Level 0	6,09	6,07	Level 2
SWGR-11B	50,90	>Max.	5,63	5,62	Level 2
SWGR-14	6,31	Level 2	3,43	3,45	Level 1
SWGR-16B	0,45	Level 0	7,45	7,43	Level 2
SWGR-19	2,10	Level 1	3,62	3,64	Level 1
SWGR-41	0,934	Level 0	1,61	1,62	Level 1

Tabel 4.10 Perbandingan Besar Insiden Energi dan Kategori Level Busur Api Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada Unit Nilam

BUS ID	<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>		
	Insiden Energi (cal/cm ²)	Level	Simulasi Insiden Energi (cal/cm ²)	Hitungan Insiden Energi (cal/cm ²)	Level
SWG/MCC-1000	18,28	Level 3	9,64	9,68	Level 3
SWGR-1003B	119,87	>Max.	8,06	8,05	Level 3
MCC-1003	5,75	Level 2	5,82	5,86	Level 2
SWGR-1001	17,96	Level 3	11,29	11,39	Level 3
SWYRD SAT4	14,06	Level 3	10,75	10,85	Level 3
SWYRD SAT5	7,93	Level 2	6,81	6,87	Level 2
MCC SAT#6	0,24	Level 0	1,86	1,85	Level 1
DP-701	2,59	Level 1	2,53	3,03	Level 1
DP-1002	0,51	Level 0	6,02	6,06	Level 2
MCC SAT2	0,51	Level 0	5,95	5,99	Level 2
MCC-400	48,86	>Max.	5,80	5,84	Level 2
MCC-1001	5,45	Level 2	5,51	5,55	Level 2
MCC-1004	1,82	Level 1	5,30	5,33	Level 2
SAT1-SWRK	9,51	Level 3	1,40	1,40	Level 1
SWGR-1003A	247,84	>Max.	4,85	4,84	Level 2
SWGR-1005	15,24	Level 3	5,1	5,11	Level 2

Tabel 4.10 Perbandingan Besar Insiden Energi dan Kategori Level Busur Api Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada Unit Nilam (Lanjutan)

BUS ID	<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>		
	Insiden Energi (cal/cm ²)	Level	Simulasi Insiden Energi (cal/cm ²)	Hitungan Insiden Energi (cal/cm ²)	Level
SWYRD SAT1	2,01	Level 1	3,55	3,58	Level 1
SWYRD SAT2	11,80	Level 3	7,53	7,60	Level 2

Dari perbandingan nilai insiden energi dan kategori level busur api di atas, terdapat bus yang mengalami peningkatan dan ada pula yang mengalami penurunan insiden energi setelah dilakukan *resetting*. Hal ini dipengaruhi oleh waktu operasi rele dalam mengamankan gangguan atau *fault clearing time* (FCT). Dimana semakin lama waktu operasi pada rele, maka semakin besar insiden energi yang timbul.

Untuk bus yang mengalami peningkatan setelah *resetting*, hal ini dikarenakan rele pada kondisi *existing* memiliki waktu operasi yang belum terkoordinasikan dengan baik. Masih terdapat rele dengan waktu operasi yang terlalu cepat dari waktu yang seharusnya, dan terdapat rele yang masih belum bekerja secara berurutan dari beban menuju ke generator. Setelah dilakukan koordinasi rele, maka rele mengalami peningkatan waktu operasi, sehingga mengakibatkan bus mengalami peningkatan nilai insiden busur api, contohnya seperti pada bus MCC-6 yang mengalami peningkatan nilai insiden energi dari 0,58 cal/cm² menjadi 4,45 cal/cm². Tetapi hal ini tetap diperbolehkan karena dengan begitu dapat diketahui nilai insiden energi yang sebenarnya, sehingga dapat direkomendasikan PPE yang tepat untuk pekerja.

Sedangkan untuk bus yang mengalami penurunan nilai insiden energi setelah *resetting*, ini karena koordinasi proteksi yang benar pada sistem keistrikan dapat mengurangi besar nilai insiden energi busur api. FCT pada rele lebih cepat dari kondisi *existing* dan sudah sesuai dengan waktu yang seharusnya. Seperti pada bus Station 1-A yang mengalami penurunan nilai energi dari 126,7 cal/cm² dengan level maksimum yang menjadi 23,76 cal/cm² dengan level tiga. Penurunan level tersebut sudah sesuai dengan level pada standar NFPA 70E.

Dari tabel diatas juga dapat dilihat perbandingan nilai insiden energi hasil simulasi dengan ETAP dan hasil perhitungan dengan standar IEEE 1584-2002 pada kondisi *resetting*. Dari hasil yang didapatkan dapat dilihat bahwa nilai insiden energi dari perhitungan dengan standar IEEE 1584-2002 tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi dengan menggunakan ETAP.

4.6 Perbandingan *Flash Protection Boundary*

Setelah dilakukan simulasi pada kondisi *existing* dan *resetting*, serta perhitungan *flash protection boundary* pada unit Badak dan Nilam PT. VICO Indonesia, maka dapat dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dan hasil perhitungan yang telah dilakukan. Perbandingan besar nilai *flash protection boundary* dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12.

Tabel 4.11 Perbandingan *Flash Protection Boundary* Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada Unit Badak

Bus ID	<i>Existing</i> FPB (m)	<i>Resetting</i> Simulasi FPB (m)	<i>Resetting</i> Hitungan FPB (m)
DP-16	0,2	0,9	0,9
MCC-1	0,2	0,9	0,9
MCC-1A	2,5	0,8	0,8
MCC-2	5	1,6	1,6
MCC-3	0,2	0,7	0,7
MCC-4A	3,7	1,4	1,4
MCC-4B	3,7	0,9	0,9
MCC-5	23,2	0,8	0,8
MCC-6	0,3	1	1,0
MCC-6A	0,3	1,6	1,6
MCC-6B	0,3	0,9	0,9
MCC-8	2	1,3	1,3
MCC-14A	0,3	1,1	1,1

Tabel 4.11 Perbandingan *Flash Protection Boundary* Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada Unit Badak (Lanjutan)

Bus ID	<i>Existing</i> FPB (m)	<i>Resetting</i> Simulasi FPB (m)	<i>Resetting</i> Hitungan FPB (m)
MCC-14B	0,3	1,1	1,1
MCC22	0,3	0,9	0,9
Station #1-A	109,9	16,31	16,4
Station #1-B	109,9	16,31	16,4
SWGR-5	0,4	0,8	0,8
SWGR-8	6,6	4,3	4,3
SWGR-11A	0,3	1,8	1,8
SWGR-11B	7,8	1,7	1,7
SWGR-14	5	2,7	2,7
SWGR-15	8,3	2,7	2,7
SWGR-16A	0,3	2,1	2,1
SWGR-16B	0,3	2,1	2,1
SWGR-19	1,6	2,8	2,9
SWGR-20	11,1	11,3	11,4
SWGR-41	0,7	1,2	1,2

Tabel 4.12 Perbandingan *Flash Protection Boundary* Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada Unit Nilam

Bus ID	<i>Existing</i> FPB (m)	<i>Resetting</i> Simulasi FPB (m)	<i>Resetting</i> Hitungan FPB (m)
DP-701	0,7	0,7	0,8
DP-1002	0,3	1,2	1,2
MCC SAT2	0,3	1,2	1,2
MCC SAT #6 380V	0,2	0,8	0,8
MCC-400	4,4	1,2	1,2

Tabel 4.12 Perbandingan *Flash Protection Boundary* Kondisi *Existing*, *Resetting* dan Hitungan pada Unit Nilam (Lanjutan)

Bus ID	<i>Existing</i> FPB (m)	<i>Resetting</i> Simulasi FPB (m)	<i>Resetting</i> Hitungan FPB (m)
MCC-1001	1,1	1,2	1,2
MCC-1003	1,2	1,2	1,2
MCC-1004	0,6	1,1	1,1
SAT1-SWRK	1,9	0,7	0,7
SWG/MCC-1000	15	7,8	7,8
SWGR-1001	3,5	2,2	2,8
SWGR-1003A	22,7	1,6	1,6
SWGR-1003B	13,9	2,2	2,2
SWGR-1005	12,5	4	4,1
SWYRD SAT1 (33kV)	1,2	1,6	1,6
SWYRD SAT2 (33kV)	2,9	2,3	2,3
SWYRD SAT4 33kV	3,1	2,7	2,7
SWYRD SAT5 33kV	2,4	2,2	2,2

Dari tabel perbandingan di atas dapat dilihat bahwa pada kondisi *resetting* jarak *flash protection boundary* menjadi lebih jauh dan lebih dekat. Hal ini dikarenakan *flash protection boundary* dipengaruhi oleh besar insiden energi. Semakin besar insiden energi maka semakin jauh jarak aman untuk pekerja, dan semakin kecil insiden energi maka semakin dekat jarak aman untuk pekerja. Untuk hasil simulasi dan perhitungan *flash protection boundary*, jarak yang didapatkan tidak terlalu berbeda, hampir mendekati dan bahkan bernilai sama. Dari hasil *flash protection boundary* tersebut maka dapat diketahui batas jarak aman bagi pekerja yang tidak memakai PPE, jika melebihi batas tersebut maka pekerja wajib memakai PPE yang sesuai dengan level insiden energi.

4.7 Penentuan *Personal Protective Equipment*

Personal Protective Equipment (PPE) ialah alat pelindung diri (APD) bagi pekerja yang wajib digunakan saat bekerja pada daerah yang bertegangan dan beresiko timbul busur api. Berdasarkan standar NFPA 70E dengan memperhatikan kategori bahaya atau resiko busur api, maka *personal protective equipment* (PPE) dikategorikan berdasarkan besar insiden energi pada busur api.

Berdasarkan analisa busur api pada PT. VICO Indonesia pada kondisi *existing*, diketahui bahwa terdapat bus atau daerah kerja yang memiliki kategori level insiden energi di luar standar NFPA 70E (lebih besar dari level insiden energi yang ditentukan NFPA), sehingga untuk PPE tidak dapat ditentukan. Setelah dilakukan *resetting* pada rele pengaman, nilai insiden busur api dapat diturunkan dan sesuai dengan level insiden energi standar NFPA 70E. *Personal Protective Equipment* (PPE) pada setiap daerah kerja berbeda-beda sesuai dengan level insiden energi yang mungkin timbul pada daerah tersebut. Penentuan PPE sesuai dengan bus dan level insiden energi dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Dengan mengetahui besar insiden energi busur api di daerah kerja bertegangan, maka pekerja wajib untuk menggunakan PPE yang sesuai saat bekerja di daerah bertegangan tersebut. Hal ini dilakukan untuk mengurangi dampak dari busur api yang mungkin timbul.

Tabel 4.13 Penentuan PPE Berdasarkan Kategori Level Busur Api

Unit Lapangan	Bus ID	Kategori Level	PPE
Badak	SWGR-5	Level 0	Pelindung mata Pelindung telinga Sepatu <i>safety leather</i> Kemeja lengan panjang Celana panjang
	DP-16	Level 1	Pakaian tahan api Pelindung kepala Pelindung mata Sepatu <i>safety leather</i> Pelindung telinga Celana panjang
	MCC-1	Level 1	
	MCC-1A	Level 1	
	MCC-3	Level 1	
	MCC-4B	Level 1	
	MCC-5	Level 1	

Tabel 4.13 Penentuan PPE Berdasarkan Kategori Level Busur Api (Lanjutan)

Unit Lapangan	Bus ID	Kategori Level	PPE
Badak	MCC-6B	Level 1	Pakaian tahan api Pelindung kepala Pelindung mata Sepatu <i>safety leather</i> Pelindung telinga Celana panjang
	MCC22	Level 1	
	SWGR-14	Level 1	
	SWGR-15	Level 1	
	SWGR-19	Level 1	
	SWGR-41	Level 1	
	MCC-4A	Level 2	Pelindung wajah dan kepala Pakaian tahan api Sarung tangan <i>leather</i> Sepatu <i>safety leather</i> Pelindung mata Pelindung telinga Celana panjang
	MCC-6	Level 2	
	MCC-8	Level 2	
	MCC-14A	Level 2	
	MCC-14B	Level 2	
	SWGR-8	Level 2	
	SWGR-11A	Level 2	
	SWGR-11B	Level 2	
	SWGR-16A	Level 2	
	SWGR-16B	Level 2	
	MCC-2	Level 3	<i>Flash suit hood</i> Pelindung wajah dan kepala Sarung tangan <i>leather</i> Sepatu <i>safety leather</i> Pakaian tahan api Pelindung mata Pelindung telinga Celana panjang
	MCC-6A	Level 3	
	Station #1-A	Level 3	
	Station #1-B	Level 3	
	SWGR-20	Level 3	

Tabel 4.13 Penentuan PPE Berdasarkan Kategori Level Busur Api (Lanjutan)

Unit Lapangan	Bus ID	Kategori Level	PPE
Nilam	DP-701	Level 1	Pakaian tahan api Pelindung kepala Pelindung mata Sepatu <i>safety leather</i> Pelindung telinga Celana panjang
	MCC SAT #6 380V	Level 1	
	SAT1-SWRK	Level 1	
	SWYRD SAT1 (33kV)	Level 1	
	DP-1002	Level 2	Pelindung wajah dan kepala Pakaian tahan api Sarung tangan <i>leather</i> Sepatu <i>safety leather</i> Pelindung mata Pelindung telinga Celana panjang
	MCC SAT2	Level 2	
	MCC-400	Level 2	
	MCC-1001	Level 2	
	MCC-1003	Level 2	
	MCC-1004	Level 2	
	SWGR-1001	Level 2	
	SWGR-1003A	Level 2	
	SWGR-1005	Level 2	
	SWYRD SAT2 (33kV)	Level 2	
	SWYRD SAT5 33kV	Level 2	
	SWG/MCC-1000	Level 3	<i>Flash suit hood</i> Pelindung wajah dan kepala Sarung tangan <i>leather</i> Sepatu <i>safety leather</i> Pakaian tahan api Pelindung mata Pelindung telinga Celana panjang
	SWGR-1003B	Level 3	
	SWYRD SAT4 33kV	Level 3	

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari koordinasi proteksi dengan mempertimbangkan busur api (*arc flash*) pada sistem kelistrikan di PT. VICO Indonesia, Kalimantan Timur, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Setting* koordinasi rele pengaman arus lebih untuk kondisi *existing* pada PT. VICO Indonesia masih terdapat kesalahan. Hal ini dapat dilihat pada hasil plot kurva TCC yang ditunjukkan dengan kurva yang saling berpotongan, serta waktu operasi dan *grading time* yang tidak sesuai dengan stansar IEEE-242.
2. Pada kondisi *existing*, terdapat nilai insiden energi busur api (*arc flash*) yang menunjukkan level maksimum atau melebihi kategori level menurut NFPA 70E, contohnya pada bus Station 1-A dan Station 1-B pada unit Badak. Hal ini dikarenakan koordinasi rele pengaman belum sesuai dengan standar IEEE-242, sehingga FCT terlalu lama dan mengakibatkan nilai insiden energi menjadi sangat besar.
3. Setelah dilakukan *resetting* koordinasi pada rele pengaman, terjadi penurunan level insiden energi busur api dari level maksimal menjadi level rendah. Contohnya pada bus Station 1-A, sebelum *resetting* nilai energinya 126,7 cal/cm² dengan kategori level maksimal menjadi 23,76 cal/cm² dengan kategori level tiga. Hal ini dikarenakan waktu operasi rele dalam mengamankan gangguan (FCT) semakin cepat.
4. Setelah dilakukan *resetting* koordinasi pada rele pengaman, juga terjadi kenaikan level insiden energi busur api, seperti pada bus MCC-3 yang mengalami kenaikan nilai insiden energi dari 0,29 cal/cm² menjadi 1,37 cal/cm². Hal ini tetap diperbolehkan karena dengan begitu dapat diketahui nilai insiden energi yang sebenarnya.

5.2 Saran

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran sebagai berikut :

1. Dari *resetting* rele pengaman dengan mempertimbangkan energi busur api dapat dijadikan pertimbangan dan referensi dalam melakukan setting rele pengaman pada PT. VICO Indonesia.
2. Diharapkan untuk selanjutnya dapat dilakukan studi untuk mengurangi dan menurunkan nilai insiden energi dengan menggunakan rele differential.
3. Setelah diketahui nilai energi pada setiap daerah kerja, maka diharapkan para pekerja dapat menggunakan PPE sesuai dengan kategori level insiden energi pada daerah kerja tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyudi, R, “Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2004
- [2] Penangsang, Ontoseno, “Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Jilid 2”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2006
- [3] Yanuwirawan, Edo, “Studi Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih dan *Ground Fault* pada Sistem Eksisting PT. VICO Indonesia, Kalimantan Timur”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2015
- [4] Wisnu Candra Listyawan, Bagus, “Studi Koordinasi Proteksi pada Sistem Tegangan Menengah di PT. Ajinomoto Mojokerto dengan Mempertimbangkan Busur Api Menggunakan Metode Perhitungan yang Dimodifikasi”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2015
- [5] Lazar, Irwin, “*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*”, McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980
- [6] IEEE Std 242-2001, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001
- [7] Hurst, Randolph W., “*Electrical Safety and Arc Flash Handbook, volume 5*”, National Safety, Inc., 2009.
- [8] Pfeiffer, John C., “*Arc Flash Article*”, Pfeiffer Engineering Co., Inc., 2008
- [9] Service Manual Type MCGG “*Overcurrent Relays for Phase and Earth Fault*” Alstom
- [10] Cooper Bussman , “*Safety Basic Electrical Hazards*”
URL:<https://www.slideshare.net/complianceandsafety/electrical-hazards-by-cooper-busmann>, Februari, 2014
- [11] Electrical Safety Training System, “*Electrical Hazards – Arc Flash with Associated Blast & Shock*”, URL:<http://www.arcflash-training.ca/ArcFlashShock>, 2017
- [12] IEEE Std. 1584-2002., “*IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001
- [13] Open Electrical, “*Arc Fault*“,
URL:[https://wiki.openelectrical.org/index.php?title=Arc Fault](https://wiki.openelectrical.org/index.php?title=Arc_Fault), Februari, 2017

- [14] NFPA 70E, “*Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces 2003 Edition*”, The National Fire Protection, Inc., USA, 2003

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Muhammad Ilham Rosyadi. Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 10 Juni 1994. Penulis mulai menempuh pendidikan di SD Muhammadiyah 15 Surabaya pada tahun 2000, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 12 Surabaya pada tahun 2006. Setelah lulus dari SMPN 12 Surabaya, penulis melanjutkan pendidikannya ke SMAN 2 Surabaya pada tahun 2009. Lulus dari sekolah menengah atas pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan di jurusan D3 Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS).

Saat ini penulis sedang menempuh pendidikan di jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), dengan mengambil bidang studi Sistem Tenaga. Penulis berdomisili di Surabaya dan dapat dihubungi melalui email milhamrsydi@gmail.com.

****Halaman ini sengaja dikosongkan****